



**Universidade de Aveiro** Departamento de Ambiente e Ordenamento  
Ano 2011

**Ana Mafalda de  
Oliveira Tavares**

**Impacte do biodiesel nas emissões e na  
qualidade do ar da Região Norte**



**Ana Mafalda de  
Oliveira Tavares**

**Impacte do biodiesel nas emissões e na  
qualidade do ar da Região Norte.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes, Professora auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Este trabalho foi financiado por fundos FEDER através do programa operacional factores de competitividade (COMPETE) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projecto BIOGAIIR (PTDC/AAC-AMB/103866/2008).

## **O júri**

Presidente

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda**  
Professora Associada com Agregação, Departamento de Ambiente e Ordenamento da  
Universidade de Aveiro

Vogais

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes  
Lopes**  
Professor Auxiliar, Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de  
Aveiro

**Prof. Doutor Francisco Freire Cardoso Ferreira**

Professor Auxiliar, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade  
de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

## **Agradecimentos**

O principal agradecimento vai para os meus pais que continuam a apostar na minha formação e sempre acreditaram em mim, dando todo o seu apoio, aturando muitos dos meus ataques de mau humor e nunca me deixando desistir. Obrigada por tudo, sem vocês não teria sido possível!

À minha orientadora Professora Myriam por todo o apoio, dedicação e conhecimentos transmitidos ao longo deste percurso. À Isabel Ribeiro pelo acompanhamento constante ao longo da tese.

À Maria Elisa Sá, que realizou as simulações com o modelo TAPM, um contributo indispensável para a análise do impacto na qualidade do ar.

Ao Albano Silva por me acompanhar sempre nesta etapa e por toda a paciência que teve comigo mas sobretudo por nunca me ter deixado desistir e ter acreditado em mim!

Não correndo o risco de me esquecer de alguém, a todas as minhas grandes amigas, algumas delas companheiras nesta aventura!

À minha restante família pela ausência em alguns momentos. Um agradecimento especial à minha prima Daniela pela preciosa ajuda nas correcções e traduções.

Aos colegas de trabalho da Câmara Municipal de Pombal, pela troca de experiências e força que me foram dando nesta recta final.

**Palavras-chave**

Biocombustíveis, emissões de gases com efeito de estufa, qualidade do ar, sector dos transportes.

## Resumo

Em 2008 Portugal foi o 4.º país da UE-27 a registar o maior aumento de gases efeito de estufa face a 1990, tendo sido o sector dos transportes o que mais contribuiu para este aumento.

Nos últimos anos, a União Europeia tem criado políticas e programas (Directiva Europeia das Energias Renováveis (2009/28/CE), Programa Europeu para as Alterações Climáticas, entre outros) de combate às alterações climáticas visando a diminuição das emissões de gases de efeito de estufa, promovendo também a diversificação de fontes energéticas. Com a entrada em vigor da Directiva 2009/28/CE, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, Portugal estabeleceu metas de introdução e produção de biocombustíveis para o período compreendido entre 2011 e 2020.

Vários estudos mostram que a utilização de biocombustíveis no sector dos transportes contribui para a diminuição de emissões de poluentes como PM, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CO, mas por outro lado contribui para aumentar as emissões de NO<sub>x</sub>, potenciando a formação de O<sub>3</sub>.

Este estudo tem como objectivo avaliar os impactes que a introdução de biocombustíveis no sector dos transportes tem na qualidade do ar, tendo como caso de estudo a região Norte de Portugal Continental. Foram criados três cenários de emissão: um sem a introdução de biodiesel para o ano de 2008 e dois com a incorporação de 10% e 20% de biodiesel para 2020.

Os resultados mostram que a utilização de biodiesel no sector dos transportes resulta numa diminuição significativa das emissões de poluentes atmosféricos como o SO<sub>2</sub> (-39% nos cenários de 2020) e PM<sub>10</sub> (-27% no cenário 2020B20) e, consequentemente, na melhoria da qualidade do ar. Os dados da qualidade do ar indicam reduções máximas nas concentrações de poluentes atmosféricos relativamente ao cenário de 2008 da ordem dos 7% para o SO<sub>2</sub> no mês de Janeiro, em ambos os cenários de 2020, e aumentos máximos de cerca de 4% para o O<sub>3</sub> também no mês de Janeiro de ambos os cenários de 2020. Estes resultados indicam que a utilização de biodiesel no sector dos transportes reduz as emissões de GEE e de outros poluentes melhorando a qualidade do ar, embora numa extensão pequena.

**Keywords**

Air quality, Biofuels, Greenhouse Gases emissions, transport sector.



## Abstract

In 2008, Portugal was the 4<sup>th</sup> EU-27 country to register the major increase of greenhouse gases in relation to 1990, being the transports sector the one that contributed mainly to this increase. In the last years, European Union has created policies and programs (Renewable Energies Directive (2009/28/EC), European Program to Climate Changes, among others) to fight climate changes aiming the reduction of greenhouse gases emissions and promoting as well the diversification of energetic sources. With the coming into effect of the Directive 2009/28/EC, referring to the promotion of use of energy coming from renewable sources, Portugal has established goals to the introduction and production of biofuels in the period comprised between 2011 and 2020.

Several researches show that the use of bio fuels in the transports sector contributes on one hand to the decrease of pollutant emissions such as PM, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, but on the other hand to the increase of NO<sub>x</sub> emissions, strengthening the O<sub>3</sub> formation.

This study has the goal to evaluate the impacts that the biofuels introduction in the transports sector has in the air quality. This study case is focused on the Portugal North region. There were created three emission scenarios: one without the biofuels introduction to the year of 2008 and two with the biofuels inclusion of 10% and 20% to 2020.

The results of this study show that biofuels use in the transports sector results in the decrease of atmospheric pollutants as SO<sub>2</sub> (-32% in the 2020 scenario) and PM<sub>10</sub> (-27% in 2020B20 scenario) and, consequently, in the improvement of air quality. Air quality data indicate maximum reductions in the atmospheric pollutant concentrations concerning 2008 scenario in the order of 7% to SO<sub>2</sub> in January, in both 2020 scenarios, and maximum increases around 4% to O<sub>3</sub>, also in January, from both 2020 scenarios. These results indicate that the biofuels use in the transports sector reduces GEE and other pollutants emissions improving air quality, although in a small extent.

## ÍNDICE

|  |      |
|--|------|
| Índice de Figuras .....  | iii  |
| Índice de Tabelas.....   | vi   |
| Abreviaturas e Símbolos.....   | viii |
| 1. Introdução .....  | 1    |
| 1.1. Enquadramento.....  | 1    |
| 1.2. Emissões do sector de transportes e qualidade do ar .....               | 11   |
| 1.3. Objectivos e hipóteses de pesquisa .....                                | 15   |
| 1.4. Organização da dissertação .....  | 15   |
| 2. Biocombustíveis .....   | 17   |
| 2.1. Tipos de Biocombustíveis e Processos de Produção.....                   | 17   |
| 2.2. Factores de Emissão de poluentes atmosféricos .....                     | 22   |
| 2.3. Situação Actual dos Biocombustíveis em Portugal .....                   | 29   |
| 3. Caso de estudo – “Impactes dos biocombustíveis na Região Norte” .....     | 35   |
| 3.1. Metodologia .....   | 35   |
| 3.2. Caracterização da Região Norte .....                                    | 35   |
| 3.3. Descrição dos Cenários .....  | 42   |
| 3.4 Impacte dos Biocombustíveis nas Emissões de Poluentes Atmosféricos ..... | 42   |
| 3.4.1. O Modelo de cálculo de emissões.....                                  | 42   |
| 3.4.2. Análise de Resultados .....   | 53   |
| 3.5. Impacte dos Biocombustíveis na Qualidade do Ar .....                    | 55   |
| 3.5.1. O Modelo TAPM .....   | 55   |
| 3.4.2. Avaliação do desempenho do modelo TAPM .....                          | 57   |
| 3.5.2 Avaliação do modelo TAPM .....   | 57   |
| 3.5.3. Análise de Resultados .....   | 67   |
| 4. Conclusões e considerações finais .....                                   | 73   |

|                   |    |
|-------------------|----|
| Bibliografia..... | 76 |
| Webgrafia.....    | 82 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1- Emissões de GEE por sector em 2008 (a) e pelo sector da energia (b) (Adaptado de REA, 2009). .....  | 1  |
| Figura 2- Representação esquemática das relações entre a actividade dos transportes rodoviários e os impactes sobre as principais questões ambientais (adaptado de Tchepel, 2003). .....                                | 3  |
| Figura 3 - Representação esquemática dos 5 eixos de desenvolvimento da Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte de 2020. ....   | 6  |
| Figura 4 – Efeito das alterações climáticas sobre a qualidade do ar no contexto das interacções química-clima. (adaptado de Jacob & Winner (2009)) .....  | 10 |
| Figura 5 - Esquema do resultado da melhoria das tecnologias utilizadas na classe veículos EURO II nas emissões de CO, HC e NOx. ....  | 13 |
| Figura 6 – Gráfico de isolinhas para a taxa líquida de produção de O <sub>3</sub> (ppb/h), em função da concentração de COV's (ppbC) e NO <sub>x</sub> (ppb), para um dia de Verão, com céu limpo (Sillman, 1999). .... | 14 |
| Figura 7- Exemplo de um processo de produção de biodiesel a partir de óleos vegetais (Adaptado de European Biofuels Technology Platform, 2007). ....  | 19 |
| Figura 8- Gráfico da produção de Biodiesel na UE-27 em 2009 (Adaptado de [URL 3]). ....   | 20 |
| Figura 9- Processos de produção do bioetanol (adaptado de Gomes, 2010). ....  | 21 |
| Figura 10- Gráfico da produção de Bioetanol na UE-27 em 2009 (Adaptado de [URL 5]). ....  | 21 |
| Figura 11 - Consumo de combustível e variações nas emissões em função da % de biodiesel utilizada em veículos pesados de mercadorias (fonte: Winther, 2009) .....   | 25 |
| Figura 12- Consumo de combustível e variação nas emissões em função da % de incorporação de biodiesel em veículos ligeiros de passageiros e carrinhas a diesel (fonte: Winther, 2009). ....                             | 27 |
| Figura 13- Gráfico da venda de biodiesel para consumo em Portugal (fonte: URL 9) .....  | 33 |
| Figura 14- Mapa dos concelhos da Região Norte, enquadrados nas respectivas zonas e aglomerações (fonte: Borrego <i>et al</i> , 2009). ....  | 36 |
| Figura 15 - Gráficos da distribuição de poluentes por sector de actividade para a Região Norte e Portugal Continental (Fonte: Borrego <i>et al</i> , 2009). ....  | 37 |
| Figura 16 - Identificação dos concelhos com maiores emissões relativamente aos poluentes em análise (fonte: Borrego <i>et al</i> , 2009). ....  | 39 |
| Figura 17 - Distribuição espacial do tráfego rodoviário médio diário pelas principais vias na Região Norte (fonte: Ribeiro <i>et al</i> (2011)). ....   | 39 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 18 - Perfis médios registados nas principais vias existentes na Região Norte. Legenda: 1- Dias úteis; 2- Fim-de-semana; a) Inverno; b) Verão (fonte: Borrego <i>et al</i> , 2009).....  | 40 |
| Figura 19- Composição do Parque Automóvel para a Região Norte, em 2007 (fonte: Borrego et al, 2009). .....   | 41 |
| Figura 20- Distribuição das emissões totais por categoria de veículo, para cada poluente, na Região Norte (fonte: Borrego et al, 2009).....  | 41 |
| Figura 21- Representação esquemática de cálculo para a quantificação das emissões de escape no TREM (adaptado de Tchepel, 2003). .....   | 44 |
| Figura 22- Classificação dos veículos no TREM (adaptado de Tchepel, 2003). .....   | 45 |
| Figura 23 - Gráfico da evolução do número de veículos pesados (a), ligeiros comerciais (b) e ligeiros de passageiros (c) entre 1973 e 2009 (fonte: ACAP - Associação Automóvel de Portugal, 2010). .....   | 47 |
| Figura 24 – Distribuição espacial das emissões de (a) CO, (b) CO <sub>2</sub> , (c) COV, (d) NO <sub>x</sub> , (e) PM <sub>10</sub> e (f) SO <sub>2</sub> obtidas para a região Norte no cenário de referência. ....   | 54 |
| Figura 25 - Variação nas emissões anuais dos cenários de 2020 (B10 e B20) relativamente ao cenário de referência, .....  | 54 |
| Figura 26 – Representação esquemática do funcionamento do modelo TAPM (adaptado de Fontes, 2010).....  | 56 |
| Figura 27 – Representação esquemática da metodologia seguida para as simulações com o modelo TAPM Adaptado de Ribeiro <i>et al</i> , 2011). .....  | 57 |
| Figura 28 - Localização das estações de monitorização consideradas para a avaliação do desempenho do modelo TAPM.....  | 59 |
| Figura 29 – Gráficos dos parâmetros estatísticos utilizados na avaliação de desempenho TAPM para PM <sub>10</sub> : (a) Coeficiente de Correlação (r); (b) Erro Sistemático Médio (BIAS); (c) Erro Quadrático Médio (EQM), (d) Índice de Concordância (IOA), .....         | 61 |
| Figura 30 - Gráficos dos parâmetros estatísticos utilizados na avaliação de desempenho do modelo TAPM para o NO <sub>2</sub> : a) Coeficiente de Correlação (r); b) Erro Sistemático Médio (BIAS); c) Erro Quadrático Médio (EQM); (d) Índice de Concordância (IOA).....   | 62 |
| Figura 31 - Gráficos dos parâmetros estatísticos utilizados na avaliação de desempenho do modelo TAPM para o O <sub>3</sub> : (a) Coeficiente de Correlação (r); (b) Erro Sistemático Médio (BIAS); (c) Erro Quadrático Médio (EQM); (d) Índice de Concordância (IOA)..... | 63 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 32 - Gráficos dos parâmetros estatísticos utilizados na avaliação de desempenho do modelo TAPM para o SO <sub>2</sub> : a) Coeficiente de Correlação (r); b) Índice de Concordância (IOA); c) Erro Sistemático Médio (BIAS); d) Erro Quadrático Médio (EQM). ..... | 64 |
| Figura 33 - Variação das concentrações de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e O <sub>3</sub> no cenário B10 relativamente ao cenário de referência para os meses de Janeiro e Julho.....                         | 70 |
| Figura 34- Variação das concentrações de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e O <sub>3</sub> no cenário B20 relativamente ao cenário de referência para os meses de Janeiro e Julho.....                          | 71 |
| Figura 35- Variações das concentrações de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e O <sub>3</sub> no cenário B20 relativamente ao cenário B10 para Janeiro e Julho. ....  | 72 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Emissões de GEE dados em CO <sub>2</sub> -equivalente para os membros da UE-27 (adaptado de EEA, 2010). .....  | 2  |
| Tabela 2 – Efeitos na saúde de alguns poluentes associados ao sector dos transportes (fonte: adaptado de WHO (2005) e URL 1). .....   | 4  |
| Tabela 3 - Principais documentos legais em vigor para a promoção da utilização de biocombustíveis em Portugal.....  | 8  |
| Tabela 4- Classificação de biocombustíveis em quatro gerações (adaptado de Demirbas, 2009)..  | 18 |
| Tabela 5 - Efeito da incorporação de biodiesel nas emissões de veículos (adaptado de EMEP/EEA, 2009). .....   | 28 |
| Tabela 6 - Relação entre as emissões e as propriedades do combustível para veículos ligeiros de passageiros e de mercadorias a diesel (fonte: EMEP/EEA, 2009).....  | 28 |
| Tabela 7 - Relação entre as emissões e as propriedades do combustível para veículos pesados de mercadorias a diesel (fonte: EMEP/EEA, 2009) .....   | 29 |
| Tabela 8 - Área de culturas energéticas por concelho segundo os dados do MAMAOT relativos aos subsídios de apoio (adaptado de [URL 6]). .....   | 29 |
| Tabela 9- Potencial de produção de bioetanol em Portugal Continental (m <sup>3</sup> ) (Adaptado de [URL 7]) .....  | 30 |
| Tabela 10 – Uso de terrenos para cultivo estimado para 2030 (Cenário <i>baseline</i> ) (Fonte: Fischer <i>et al</i> , 2007 ).....   | 31 |
| Tabela 11- Principais produtores de biodiesel e respectiva capacidade instalada segundo dados da Associação Portuguesa de Produtores de Biodiesel (adaptado de [URL 10]).....   | 33 |
| Tabela 12- Emissões diárias de CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub> e COV para os diferentes períodos de tempo na Região Norte (adaptado de Borrego <i>et al</i> , 2009). ..... | 41 |
| Tabela 13 - Composição do Parque Automóvel em 2008 (fonte: ACAP, 2010). .....   | 45 |
| Tabela 14 - Composição do Parque Automóvel em 2008 segundo a tipo de combustível usado (fonte: ACAP, 2010).....   | 46 |
| Tabela 15 - Categorias de veículos para os anos 2008 e 2020 em termos percentuais. ....   | 48 |
| Tabela 16 – Idade e número de veículos ligeiros de passageiros (ACAP, 2009). ....   | 48 |
| Tabela 17 - Classificação dos veículos de acordo com as datas de implementação das normas de emissão. ....  | 50 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 18 – Temperaturas mínimas, médias e máximas consideradas para o Inverno e Verão.....   | 51 |
| Tabela 19 - Parâmetros dos combustíveis (fonte: DL n,º 89/2008, de 30 de Maio), .....   | 51 |
| Tabela 20 - Parâmetros dos combustíveis com 5 a 20% de incorporação de biodiesel (fonte: National Biodiesel Board – ASTM 7467-10) .....   | 51 |
| Tabela 21 - Módulos e respectivas funções da componente de transporte e dispersão do TAPM (adaptado de Hurley <i>et al</i> , 2005). .....   | 56 |
| Tabela 22 - Estações de monitorização da qualidade do ar da região Norte com uma eficiência superior a 85%,.....  | 58 |
| Tabela 23 - Resumo dos valores obtidos para cada estação e poluente do coeficiente de correlação (r), erro sistemático médio (BIAS), erro quadrático médio (EQM) e coeficiente de correlação (IOA), .....     | 66 |
| Tabela 24- Variações em termos percentuais das concentrações médias de PM10, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e O <sub>3</sub> para os meses de Janeiro e Julho dos cenários 2008B0, 2020B10 e 2020B20. .... | 68 |



## **ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

ACAP – Associação Automóvel de Portugal

AE – Auto-Estrada

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APPB – Associação Portuguesa de Produtores de Biodiesel

APREN – Associação de Energias Renováveis

BWM – *Building wake module*

CCDR – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional

CEETA – Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente

CORINAIR - *CORe INventory of AIR emissions*

CSIRC – *Commonwealth Scientific and Industrial Research University Organization*

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

DMF – Dimetilfurano

EEA – *European Environmental Agency*

EGM – *Eulerian Grid Module*

EGR – *Exhaust Gas Recirculation*

EM – Estrada Municipal

EMEP – *European Monitoring and Evaluation Programme*

EN – Estrada Nacional

ENE – Estratégia Nacional para a Energia

EPA – *Environmental Protection Agency*

FAME – *Fatty Acid Methyl Ester*

FE – Factor de Emissão

FER – Fonte de Energia Renovável

GEE – Gás com Efeito de Estufa

GNC – Gás Natural Comprimido

GPL - Gás de Petróleo Liquefeito

HC – Hidrocarbonetos

ID – Identificador Único

IC – Itinerário Complementar

INE – Instituto Nacional de Estatística

IP - Itinerário Complementar

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISP – Imposto Sobre Petrolíferos

ISP – instituto de Seguros de Portugal

IV – Infra-Vermelho

LPM – *Langrangian particle module*

MAMAOT – Ministério do Ambiente, Mar, Agricultura e Ordenamento do Território

MCOTA – ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente (n mencionado)

NEDC – *New European Driving Cycle*

PEAC – Programa Europeu para as Alterações Climáticas

PNAC – Plano Nacional para as Alterações Climáticas

PNAER – Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis

PRM – *Plume rise module*

REA – Relatório do Estado do Ambiente

SCR – *Selective Catalytic Reduction*

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

TAPM – *The Air Pollution Model*

TREM – *TRansport Emission Model For Line Sources*

THC – *Total Hydrocarbons*

UE – União Europeia

UV - Ultra-Violeta

VLC – Veículos Ligeiros Comerciais

VLP – veículos Ligeiros de Passageiros

VLM – Veículos Pesados de Mercadorias

WHO – *World Health Organization*

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

Os transportes rodoviários assumem um papel predominante no desenvolvimento das sociedades permitindo a mobilidade de pessoas, bens e serviços. Contudo, esta actividade é fortemente apontada como principal responsável pelo agravamento de vários problemas ambientais, como as alterações climáticas, a degradação da qualidade do ar, ruído, entre outros. De facto, em Portugal o sector dos transportes é o principal responsável pela emissão de gases de efeito de estufa (GEE) – cerca de 24,9% (Figura 1) das emissões geradas pelo sector energético (APA, 2010).

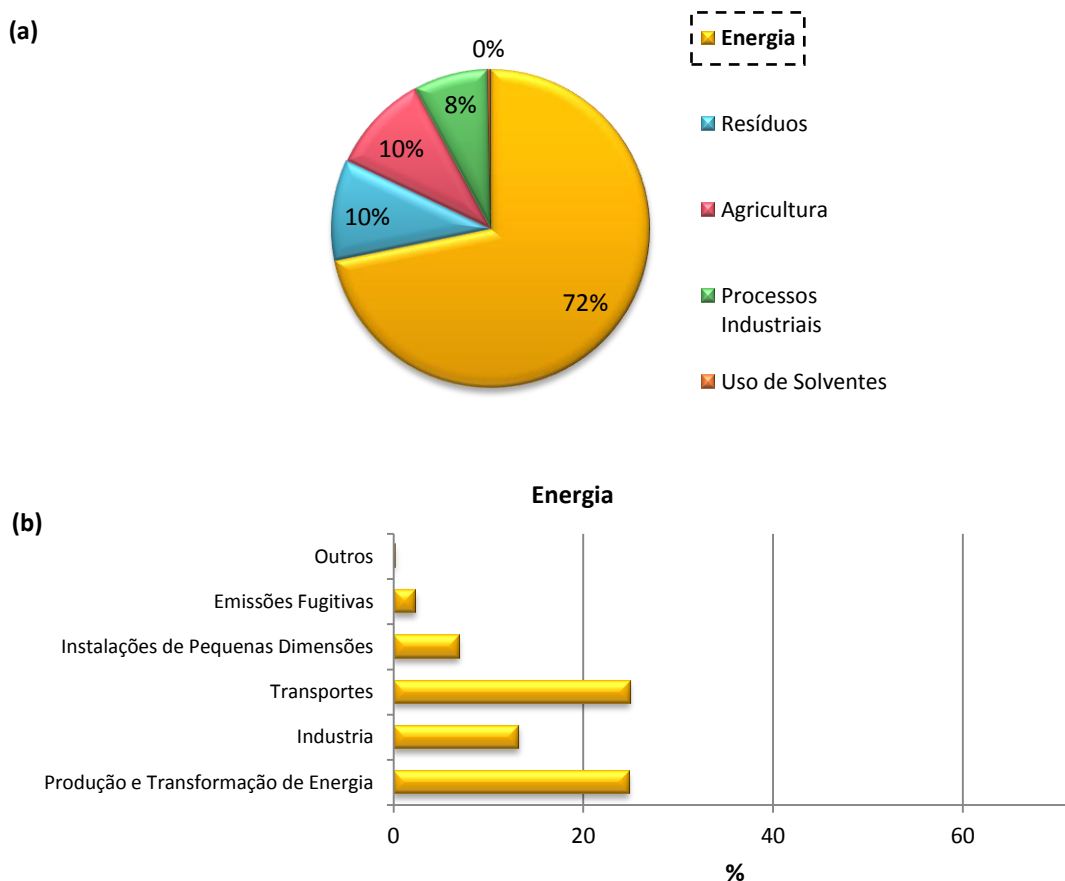


Figura 1- Emissões de GEE por sector em 2008 (a) e pelo sector da energia (b) (Adaptado de REA, 2009).

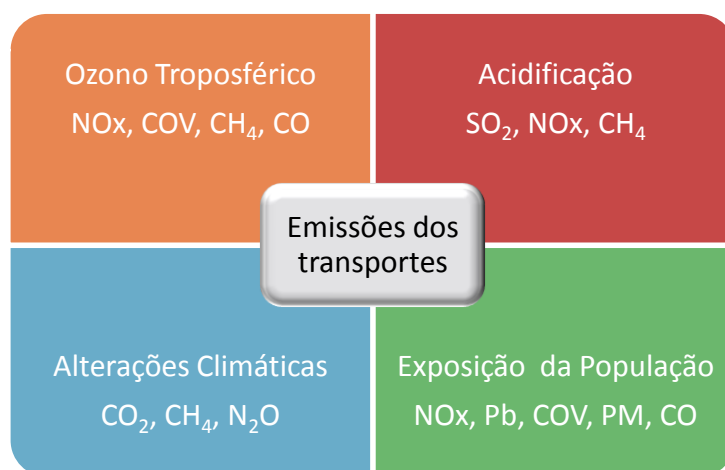
Segundo os dados publicados pela Agência Europeia do Ambiente (em inglês, *European Environmental Agency* – EEA) em 2010, Portugal foi em 2008 o 4.º país (Tabela 1) que registou um maior aumento de emissões de GEE relativamente a 1990, estando 30% acima do valor de 1990.

Tabela 1 - Emissões de GEE dados em CO<sub>2</sub>-equivalente para os membros da UE-27 (adaptado de EEA, 2010).

| Estado Membro   | 1990 (Mton)    | 2008 (Mton)    | Variações 1990 – 2008 (%) |
|-----------------|----------------|----------------|---------------------------|
| Áustria         | 78,2           | 86,6           | 10,8 %                    |
| Bélgica         | 143,4          | 133,3          | – 7,1 %                   |
| Dinamarca       | 68,9           | 63,8           | – 7,4 %                   |
| Finlândia       | 70,4           | 70,1           | – 0,3 %                   |
| França          | 563,2          | 527,0          | – 6,4 %                   |
| Alemanha        | 1231,8         | 958,1          | – 22,2 %                  |
| Grécia          | 103,3          | 126,9          | 22,8 %                    |
| Irlanda         | 54,8           | 67,4           | 23,0 %                    |
| Itália          | 517,0          | 541,5          | 4,7 %                     |
| Luxemburgo      | 13,1           | 12,5           | – 4,8 %                   |
| Holanda         | 212,0          | 206,9          | – 2,4 %                   |
| Portugal        | 59,3           | 78,4           | 32,2 %                    |
| Espanha         | 285,1          | 405,7          | 42,3 %                    |
| Suécia          | 72,4           | 64,0           | – 11,7 %                  |
| Reino Unido     | 771,7          | 628,2          | – 18,6 %                  |
| Bulgária        | 117,4          | 73,5           | – 37,4 %                  |
| Chipre          | 5,3            | 10,2           | 93,9 %                    |
| República Checa | 195,2          | 141,4          | – 27,5 %                  |
| Estónia         | 40,8           | 20,3           | – 50,4 %                  |
| Hungria         | 97,4           | 73,1           | – 24,9 %                  |
| Letónia         | 26,8           | 11,9           | – 55,6 %                  |
| Lituânia        | 49,7           | 24,3           | – 51,1 %                  |
| Malta           | 2,0            | 3,0            | 44,2 %                    |
| Polónia         | 453,3          | 395,6          | – 12,7 %                  |
| Roménia         | 242,1          | 145,9          | – 39,7 %                  |
| Eslováquia      | 73,9           | 48,8           | – 33,9 %                  |
| Eslovénia       | 18,5           | 21,3           | 15,2 %                    |
| <b>EU-27</b>    | <b>5 567,0</b> | <b>4 939,7</b> | <b>– 11,3 %</b>           |

Para além das emissões de GEE, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o sector dos transportes tem um contributo bastante significativo nas emissões de poluentes como óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), compostos orgânicos voláteis (COV) e matéria particulada (PM), responsáveis por muitos impactes ambientais a nível transfronteiriço regional (EMEP, 2004) e local (Ferreira e tal., 2002). Além disso estes poluentes desempenham um papel fundamental na formação de ozono (O<sub>3</sub>).

Existem vários estudos sobre a relação entre este sector e os impactes ambientais resultantes da sua actividade [ Colvile *et al.*, 2001; Hensher, 2008; Rodrigue *et al.*, 2009; Tchepel, 2003]. Segundo Tchepel (2003), as emissões do sector dos transportes geram impactes negativos em quatro grandes questões ambientais: alterações climáticas, O<sub>3</sub> troposférico, acidificação e exposição da população (Figura 2).



**Figura 2- Representação esquemática das relações entre a actividade dos transportes rodoviários e os impactes sobre as principais questões ambientais (adaptado de Tchepel, 2003).**

O O<sub>3</sub> troposférico é um poluente que resulta da reacção entre a luz solar e outros poluentes como o CH<sub>4</sub>, COV, NOx e CO – precursores de O<sub>3</sub>. Os NOx e os COV são os principais intervenientes na sua formação e são essencialmente emitidos pelo sector rodoviário.

A acidificação é um processo de conversão de poluentes atmosféricos como NOx e SO<sub>2</sub> em substâncias ácidas. O monóxido de azoto (NO) resultante da combustão incompleta nos motores de veículos reage com o azoto existente na atmosfera produzindo dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>) que ao reagir com mais oxigénio e água forma ácido nitroso (HNO<sub>2</sub>) (Reger, Goode et al. 1997). Ao depositarem-se na superfície terrestre, estas substâncias provocam problemas como a desflorestação, a acidificação de massas de água, entre outros.

A emissão de GEE no sector dos transportes resulta da combustão incompleta nos motores e são responsáveis pela absorção da radiação Infra-Vermelha (IV) que é reemitida pela superfície terrestre potenciando, assim, o efeito de estufa. A análise de dados científicos permitiu provar que as alterações nas concentrações de GEE foram sempre acompanhadas por alterações nas condições atmosféricas. O 4º relatório do IPCC divulga dados sobre os aumentos de temperatura média global da atmosfera e dos oceanos, da fusão de neve e aumento do nível médio do mar.

Associado a estes acontecimentos, foram também observadas variações preocupantes no teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o que prova o fenómeno das Alterações Climáticas (IPCC, 2007).

A exposição a poluentes é maior em áreas urbanas, onde o tráfego rodoviário é maior. Segundo Colvile *et al.* (2001), a principal fonte de emissões com impactes sobre a saúde humana é o sector rodoviário, uma vez que a libertação de poluentes está muito próxima dos receptores humanos. Os principais efeitos na saúde provocados pela exposição a PM, O<sub>3</sub> troposférico, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e CO são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Efeitos na saúde de alguns poluentes associados ao sector dos transportes (fonte: adaptado de WHO (2005) e URL 1).**

| Poluente   | Efeitos na saúde  |
|--|---|
| Matéria Particulada (PM) – mistura complexa de partículas sólidas e líquidas de substâncias orgânicas e inorgânicas suspensas no ar.                             | Doenças cardiovasculares e respiratórias; cancro do pulmão.   |
| O <sub>3</sub> (troposférico) - principal constituinte do smog fotoquímico que se forma na presença de radiação solar e de Nox e COVs.                           | Problemas respiratórios, asma, redução da função pulmonar, doenças pulmonares.  |
| Dióxido de Azoto (NO <sub>2</sub> ) – principal fonte de aerossóis de nitrato (fracção importante de PM <sub>2,5</sub> e, na presença de UV, de O <sub>3</sub> . | Redução da função pulmonar, registo de aumento de sintomas de bronquite em crianças asmáticas.                                    |
| Dióxido e Enxofre (SO <sub>2</sub> ) – produzido a partir da queima de combustíveis fósseis e da fundição de minérios que contêm enxofre.                        | Irritação dos olhos, inflamação do tracto respiratório causando tosse, secreção de muco, agravamento de asma e bronquite crónica. |
| Monóxido de Carbono (CO) – nas áreas urbanas a maior parte das emissões de CO provém da actividade dos transportes.  | Inibe o transporte de oxigénio a órgãos e tecidos; em concentrações elevadas pode provocar morte.                                 |

A maior parte dos poluentes nefastos para a saúde resultam da combustão incompleta nos motores, da evaporação do combustível e da erosão provocada pela circulação dos veículos (Tchepel, 2003).

As preocupações com os efeitos provocados pela intervenção da acção humana no sistema climático não são recentes. Em 1988 foi criado o Painel Intergovernamental das Alterações Climáticas (IPCC), que tinha como objectivo recolher e sistematizar toda a informação publicada à escala Mundial sobre Alterações Climáticas. Através desta iniciativa foi possível estabelecer uma

base de dados com informações de carácter científico que permitiu compreender os riscos associados às Alterações Climáticas(Custódio and Matias 2004).

Mais tarde, em 1992, realizou-se a Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas cujo principal objectivo passava por conseguir estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera a um nível que evitasse uma interferência antropogénica perigosa com o sistema(Custódio and Matias 2004).

Após a Convenção Quadro das Nações Unidas surge o Protocolo de Quioto, um dos instrumentos internacionais mais importantes na luta contra as Alterações Climáticas. Este protocolo define como principal meta a redução das emissões de GEE dos países desenvolvidos em, pelo menos, 5% relativamente aos níveis de 1990 durante o período de 2008 a 2012. Para ajudar os países a atingir os objectivos traçados pelo protocolo é proposto um conjunto de meios, como seja o reforço ou criação de políticas nacionais de redução das emissões.

O Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) surge em Portugal em 2002 como o primeiro passo para pôr em prática as políticas, medidas e instrumentos que visam a estabilização das emissões de GEE, tendo sido aprovado em 2006 pela Resolução de Conselho de Ministros 104/2006. Em 2007 foram revistas e adoptadas novas metas no que diz respeito a políticas e medidas dos sectores de oferta de energia e transportes, como o incentivo ao abate de veículos em fim de vida, aumento da eficiência energética do novo parque automóvel, introdução de biocombustíveis nos combustíveis rodoviários, entre outras [URL 1].

Em 2009 foi aprovada a Directiva 2009/28/CE, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, que veio fixar uma meta de incorporação de 10% nas fontes de energia renováveis até 2020 no consumo final de energia no sector dos transportes. Esta directiva foi transposta para direito interno pelo Decreto-lei n.º 117/2010, de 25 de Outubro e onde são estabelecidos os critérios de sustentabilidade para a promoção e utilização de biocombustíveis e os limites de incorporação obrigatória para o período de 2011 a 2020.

Em 2001 a Comunidade Europeia lançou o Programa Europeu para as Alterações Climáticas (PEAC) que tinha como objectivo identificar e desenvolver elementos necessários para a criação de uma estratégia que ajudasse todos os membros da União Europeia (UE) a implementar o Protocolo de Quioto.

Devido à necessidade de criar um novo enquadramento global para a aprovação do Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis e de rever o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética foi estabelecida uma Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte de



2020 (Resolução de Conselho de Ministros n.º 29/2010). Esta estratégia tem como principais objectivos (Resolução de Conselho de Ministros n.º 29/2010):

- i) Reduzir a dependência energética face ao exterior para 74% em 2020 a partir da produção de combustíveis alternativos;
- ii) Reduzir o consumo final em 20% e garantir que 60% da electricidade produzida e 31% do consumo de energia final tenham origem em fontes renováveis;
- iii) Reduzir em 25% o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas;
- iv) Criar riqueza e consolidar um *cluster* energético no sector das energias renováveis em Portugal;
- v) Desenvolver um *cluster* industrial associado à promoção da eficiência energética;
- vi) Promover o desenvolvimento sustentável criando condições para o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas por Portugal no quadro europeu.

A ENE2020 foi desenvolvida com base em 5 eixos orientadores [URL 2] apresentados no esquema da Figura 3:



**Figura 3 - Representação esquemática dos 5 eixos de desenvolvimento da Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte de 2020.**

No âmbito da Directiva 2009/28/CE acima mencionada foi apresentada à Comissão Europeia o Plano de Acção para as Energias Renováveis (PNAER), onde são definidos os objectivos nacionais relativamente à quota de energia proveniente de fontes de energia renováveis (FER) utilizadas para os sectores de transportes, da electricidade e de aquecimento e arrefecimento em 2020. No que diz respeito ao sector dos transportes e mais concretamente aos biocombustíveis, o PNAER define três medidas específicas e identifica os impactes previstos com a implementação dessas medidas (PNAER, 2010):

- Transpor para direito interno as directivas da UE e implementar as melhores práticas relativas aos biocombustíveis, bem como definir um modelo para os biocombustíveis a partir de 2010;
  - Impactos previstos – assegurar a produção sustentável de biocombustíveis respeitando os critérios de sustentabilidade e padrões de qualidade definidos pela UE, bem como o cumprimento da meta de FER para o sector dos transportes.
- Promover a utilização de recursos endógenos para a produção de biocombustíveis, estreitando a ligação com a agricultura nacional e as soluções ligadas aos biocombustíveis de segunda geração;
  - Impactos previstos – Aumentar o uso de recursos endógenos na produção de biocombustíveis e incentivar a produção de biocombustíveis a partir de detritos, resíduos, material celulósico não alimentar e lenho-celulósico.
- Criar uma entidade certifica responsável pela introdução de biocombustíveis;
  - Criação e implementação de um processo de certificação dentro dos modelos alternativos previstos na directiva.

Para além das medidas sectoriais, o PNAER também define as medidas adequadas para alcançar os objectivos globais e nacionais, sem esquecer os efeitos de outras políticas relativas à eficiência energética, bem como outras medidas a serem implementadas de forma a cumprir os requisitos estabelecidos pela Directiva 2009/28/CE.

Neste sentido e face ao aumento do preço do petróleo a utilização de biocombustíveis como substitutos dos combustíveis petrolíferos tem suscitado cada vez mais interesse, uma vez que podem desempenhar um papel fundamental não só na diminuição das emissões de GEE, como também na diminuição da dependência energética externa.

Vários governos têm criado incentivos para desenvolver a indústria dos biocombustíveis, como a atribuição de subsídios e a isenção de impostos. Na Europa foi desenvolvida a “Estratégia da União Europeia no domínio dos biocombustíveis” - que se baseia no Plano de Acção para Biomassa – e tem como principais objectivos a promoção de biocombustíveis de 1ª geração, apoiar países em desenvolvimento cujo investimento na produção de biocombustíveis estimule o crescimento económico sustentável, desenvolver a competitividade e aumentar a investigação sobre biocombustíveis de 2ª geração. Esta estratégia representa um ponto de viragem no sector dos biocombustíveis para a Europa. Em Portugal, para além do Decreto-lei n.º 117/2010, de 25 de Outubro, a legislação nacional prevê ainda outras medidas de promoção da utilização de biocombustíveis, particularmente:

- A isenção/redução do Imposto Sobre Petrolíferos (ISP), nomeadamente o valor, a que operadores se aplica as quantidades passíveis deste benefício;
- As quotas mínimas de incorporação obrigatórias de biocombustíveis em gasóleo rodoviário;
- A incorporação faseada de biocombustíveis para entidades que incorporem combustíveis no mercado para consumo final no sector dos transportes terrestres;
- Os critérios de sustentabilidade dos biocombustíveis.

Os principais documentos legais que regulamentam a produção e utilização de biocombustíveis e as metas definidas por cada um estão resumidos na Tabela 3.

**Tabela 3 - Principais documentos legais em vigor para a promoção da utilização de biocombustíveis em Portugal.**

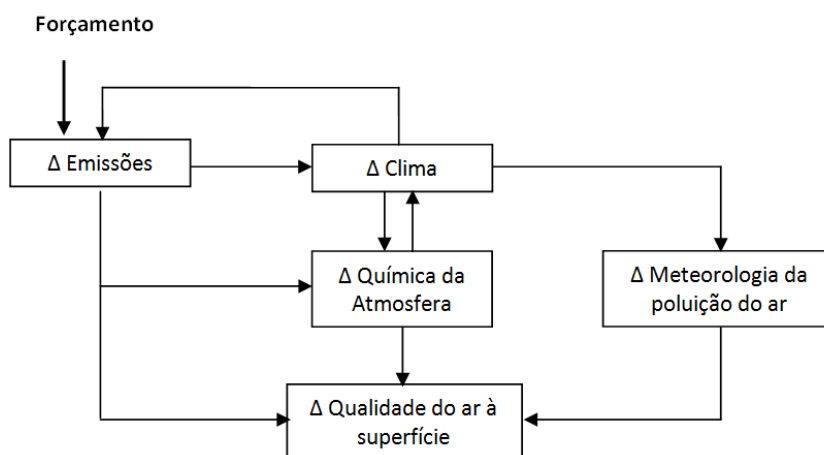
| Documento Legal                 | Objectivo   | Metas  |                                |                                 |
|---------------------------------|---|--|--------------------------------|---------------------------------|
| <b>Decreto-lei n.º 55/2006</b>  | Estabelece a criação de um incentivo fiscal (redução/isenção de ISP).   | Operadores Económicos – Valor de isenção entre €280 e €300 por cada 1000 litros, por um período máximo de 6 anos;<br>Pequenos produtores – isenção total de ISP até ao limite máximo de 15000 ton. |                                |                                 |
| <b>Portaria n.º 1554-A/2007</b> | Regula o processo de atribuição de isenção de ISP aos operadores económicos que introduzem biocombustíveis no consumo para o período 2008 a 2010.   |  | Gasóleo<br>(milhões de litros) | Gasolina<br>(milhões de litros) |
|                                 |   | 2008   | 320                            | -                               |
|                                 |   | 2009   | 340                            | 165                             |
|                                 |   | 2010   | 360                            | 165                             |
|                                 |   | *A estas quantidades anuais acresce ainda a quantidade destinada a pequenos produtores dedicados.  |                                |                                 |
| <b>Decreto-lei n.º 89/2008</b>  | Estabelece as normas referentes às especificações técnicas aplicáveis aos combustíveis, estabelecendo regras para o controlo de qualidade dos combustíveis rodoviários e as condições para a comercialização de misturas de | Limite máximo de mistura de biocombustíveis fixado em 20%. Só os volumes de biocombustíveis até 15% de incorporação podem incluir biocombustíveis que beneficiam de isenção de ISP.                |                                |                                 |

|                                 |  |  |
|---------------------------------|--|--|
|                                 | biocombustíveis com gasolina e gasóleo em concentrações superiores a 5 % em volume.  |  |
| <b>Portaria n.º 134/2009</b>    | Estabelece valor da isenção para o biocombustível substituto do gasóleo.   | Valor de isenção de ISP para biocombustível substituto do gasóleo fixado em €280/1000l. Isenção total de ISP para pequenos produtores válida até 31/12/2010.                                 |
| <b>Decreto-lei n.º 49/2009</b>  | Fixa quotas de incorporação obrigatórias de biocombustíveis em gasóleo rodoviário e estabelece os procedimentos aplicáveis à sua monitorização e controlo  | Entidades que coloquem no mercado gasóleo rodoviário são obrigadas a incorporar em 2009 6% e em 2010 10% do volume do total de gasóleo rodoviário em 2009.                                   |
| <b>Decreto-lei n.º 117/2010</b> | Transpõe para a ordem jurídica interna os artigos 17.º a 19.º e os anexos III e V da Directiva n.º 2009/28/CE e o n.º 6 do artigo 1.º e o anexo IV da Directiva n.º 2009/30/CE; estabelece os critérios de sustentabilidade para a produção e utilização de biocombustíveis e ilíquidos e define os limites de incorporação obrigatória de biocombustíveis para os anos 2011 a 2020. | Limites de incorporação de biocombustíveis para consumo final no sector rodoviário:<br>2011 a 2012 - 5%<br>2013 a 2014 – 5.5%<br>2015 a 2016 – 7.5%<br>2017 a 2018 – 8%<br>2019 a 2020 – 10% |

Apesar de vários estudos apontarem para uma diminuição das emissões de poluentes atmosféricos, como o CO, SO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos (Demirbas, 2009; Xue *et al*, 2011), associados à incorporação de biocombustíveis nos combustíveis convencionais, os impactes associados à produção de biocombustíveis na qualidade do ar ainda não estão bem estudados (Jacob and Winner 2009). A criação de culturas energéticas para a produção de biodiesel e bioetanol pode ter impactes na qualidade do ar devido às alterações do uso do solo, às emissões associadas aos processos de produção e conversão de energia e aos transportes.

Segundo Bill Collins (2004), responsável pela investigação sobre as interações entre a composição da atmosfera e o clima no *Met Office*, os principais factores que afectam a qualidade do ar, como o transporte, as emissões e reacções químicas que ocorrem na atmosfera, são condicionados pelas alterações climáticas, associadas ao aumento de GEE.

Embora a qualidade do ar e o clima sejam duas questões que são muitas vezes analisadas em separado, estão intimamente ligadas pela química da atmosfera, radiação solar e processos dinâmicos. Esta interacção pode ser explicada pelo esquema da Figura 4 (Jacob and Winner 2009).



**Figura 4 – Efeito das alterações climáticas sobre a qualidade do ar no contexto das interações química-clima. (adaptado de Jacob & Winner (2009))**

Um agente forçador externo provoca uma mudança nas emissões antropogénicas, desencadeando alterações no sistema interactivo química-clima-emissões. Neste sistema os factores química, clima e emissões estão intimamente relacionados; uma alteração num destes factores irá provocar uma perturbação no sistema. Neste sentido, a qualidade do ar é fortemente afectada pelas alterações que ocorrem neste sistema e pelas emissões naturais (como poeiras, fogos, relâmpagos, entre outros), que são afectadas pelo clima. Alguns dos agentes forçadores que desencadeiam este conjunto de perturbações incluem as emissões antropogénicas de CO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub> e de carbono elementar (Jacob & Winner, 2009).

Poluentes atmosféricos como o CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM e COVs podem causar maiores ou menores impactos na qualidade do ar consoante as suas concentrações e as condições meteorológicas.

O conhecimento sobre as emissões e a sua dispersão na atmosfera permitem uma actuação mais pró-activa, no sentido de evitar a exposição a fenómenos de poluição, mas também para a previsão/simulação de impactes resultantes de novas fontes emissoras (Sousa, 2008). Neste contexto, para se obterem projecções quantitativas das alterações climáticas e da qualidade do ar é necessário recorrer a cenários futuros, obtidos a partir de modelos numéricos. Segundo Aguiar e Santos (2007) é impossível prever em detalhe o rumo das sociedades e da tecnologia e, projecções neste sentido, costumam tornar-se inválidas ao fim de poucos anos, por muito complexa que seja a metodologia usada e a quantidade de dados históricos trabalhados. Como alternativa, torna-se essencial admitir um conjunto de dados objectivos que permitam a

reprodutibilidade, comparação e a crítica dos esforços efectuados. Para tal criam-se cenários futuros, que não são nem previsões nem projecções, mas que extrapolam tendências de carácter demográfico, social, económico e tecnológico, formando descrições coerentes de possíveis futuros. O autor menciona, ainda, diversos exemplos de literatura que comparam dois tipos de cenários: cenários *business-as-usual* (cenário de referência) e cenários alternativos (são alteradas algumas das componentes específicas da área tecnológica, económica, etc.), sendo esta uma abordagem útil para simulações a curto prazo (10-15 anos).

O presente trabalho tem como objectivo avaliar qual o impacto que a introdução de biocombustíveis no sector dos transportes pode ter qualidade do ar, comparativamente ao uso de combustíveis fósseis. Para tal foi escolhida a região Norte como caso de estudo, devido ao elevado peso que esta região tem nas emissões totais de poluentes atmosféricos em Portugal. Foram criados 3 cenários de emissão, um de referência que não contempla qualquer incorporação de biodiesel para o ano 2008 e outros dois para 2020, considerando a incorporação de 10% e 20% de biodiesel.

## **1.2. EMISSÕES DO SECTOR DE TRANSPORTES E QUALIDADE DO AR**

As emissões de veículos rodoviários são controladas pela legislação Europeia desde os anos 70. Para cumprirem as exigências estabelecidas pela legislação, os fabricantes de veículos introduziram novos sistemas de controlo de emissões e a aposta na melhoria contínua de tecnologia de motores tem vindo a crescer. Como resultado, os veículos mais recentes possuem níveis de emissão de poluentes regulamentados (CO, NO<sub>x</sub>, THC) que são significativamente menores em comparação com os veículos em circulação à duas décadas atrás (EMEP/CORINAIR, 2009).

A maioria das metodologias desenvolvidas para estimativa de emissões baseia-se no conceito de que as emissões são iguais ao produto entre factores de emissão (f.e., em [g/km percorrido] ou [g/kg de combustível gasto]) e respectivas taxas de actividade (A, em [km] ou [kg de combustível])(Tchepele 2003).

$$E = f.e. \times A \quad (\text{Equação 1})$$

Segundo o Relatório do EMEP/CORINAIR (2002) as emissões rodoviárias podem ser agrupadas em três categorias: emissões de escape durante a estabilização térmica (emissões a quente), emissões de arranque a frio na fase de aquecimento do motor, e perdas por evaporação de

COVNM devido aos sistemas de combustível dos veículos. Da soma destas três categorias de emissões resultam as emissões totais (Equação 2)

$$E_{\text{total}} = E_{\text{quente}} + E_{\text{frio}} + E_{\text{evaporativas}} \text{ (Equação 2)}$$

As emissões a quente, produzidas durante a combustão e emitidas pelo tubo de escape, são a fonte mais importante de poluentes. Segundo Tchepel (2003) as emissões a quente dependem de:

- i. Tipo de veículos - propriedades como a categoria (veículos de passageiros, pesados de mercadorias, ligeiros comerciais, entre outros), a tecnologia (convencional, injeção directa, etc.), a capacidade (no caso de veículos de passageiros) e o peso (para os veículos pesados de mercadorias) são muito importantes na estimativa de emissões;
- ii. Velocidade – para a maioria dos poluentes os factores de emissão são expressos segundo a velocidade. No entanto, para poluentes como o CO<sub>2</sub> e o SO<sub>2</sub>, as taxas de emissão são calculadas segundo o consumo de combustível;
- iii. Carga do veículo – quanto maior for a carga/peso do veículo, maior será a energia necessária produzida pelo motor, afectando o consumo de combustível e as emissões. Este parâmetro tem uma influência maior para os veículos pesados de mercadorias;
- iv. Temperatura Ambiente – este parâmetro não é muito significativo nas emissões de escape;
- v. Inclinação da estrada – quanto maior for a inclinação da estrada, maior será a necessidade de potência o que resulta num aumento de emissões e de combustível; este efeito torna-se mais evidente nos veículos pesados de mercadorias;
- vi. Quilometragem – os efeitos deste parâmetro não são muito significativos nos veículos convencionais, uma vez que podem ser minimizados fazendo alguns ajustes. Para os veículos com conversores catalíticos, as emissões de escape aumentam com o aumento da quilometragem devido à decomposição catalítica.

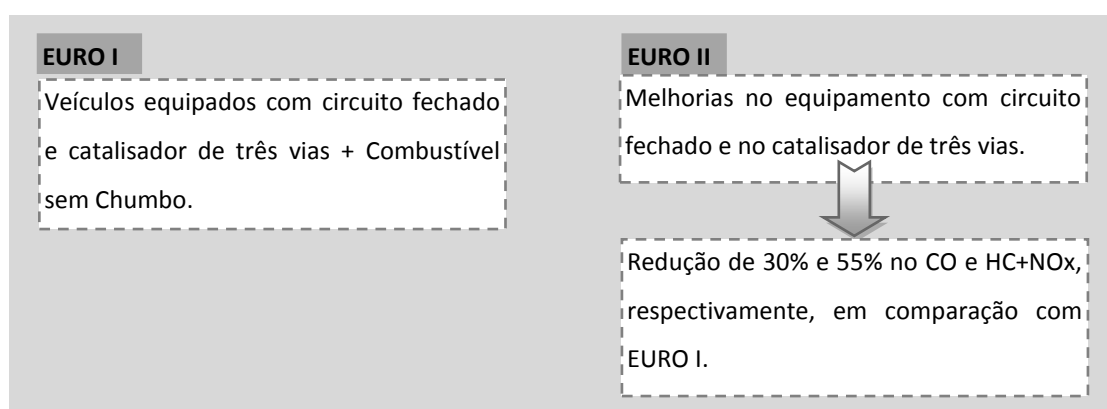
As emissões a frio são maiores relativamente às emissões a quente pelo facto de a temperatura à qual se inicia o arranque do motor ser inferior à temperatura normal, resultando numa baixa volatilidade do combustível. Para compensar esta situação, é adicionada uma mistura de ar/combustível que resulta na combustão incompleta (Tchepel 2003).

As emissões evaporativas resultam da volatilidade do combustível em combinação com a temperatura ambiente e apenas são relevantes para os COVNM. Dependem essencialmente de (Tchepel 2003):

- i. Tecnologia do veículo – se estão ou não equipados com *canisters* de carbono;

- ii. Temperatura ambiente e respectiva variação diária;
- iii. Volatilidade da gasolina;
- iv. Condições de condução – distância média da viagem, tempo de estacionamento, etc.

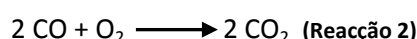
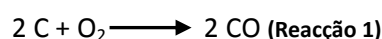
Para além da melhoria da tecnologia dos veículos (mencionada no início do subcapítulo), a melhoria dos combustíveis utilizados também pode ajudar na redução das emissões de poluentes. A combinação entre estes dois factores permite aos veículos cumprirem as normas de emissões europeias (ver Figura 5).



**Figura 5 - Esquema do resultado da melhoria das tecnologias utilizadas na classe veículos EURO II nas emissões de CO, HC e NOx.**

As principais emissões de poluentes resultantes da actividade dos transportes são os precursores de  $O_3$  ( $NO_x$ , COVs e CO), gases de efeito de estufa ( $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$ ), substâncias acidificantes ( $SO_2$  e  $NH_3$ ) e matéria Particulada (PM).

O CO é um produto intermédio da combustão de combustíveis à base de hidrocarbonetos (HC) e de biomassa que resulta da baixa razão ar/combustível (combustão incompleta).

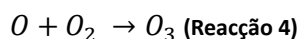


Por outro lado, a produção de CO também pode ocorrer por dissociação de  $CO_2$  em condições de mistura pobre (razão ar/combustível  $<1$ ) e com temperaturas superiores a 1250 K (Silva 2009). Enquanto substância precursora de  $O_3$ , o CO compete com o  $CH_4$  pelo radical hidroxilo (OH) influenciando, assim, a quantidade de  $NO_x$  disponível para a formação de  $O_3$  (Sousa, 2007).

O NO de origem antropogénica é formado em processos de combustão a elevadas temperaturas e combina-se rapidamente com o oxigénio para formar  $NO_2$  através de um conjunto de reacções fotoquímicas, mas pode também ser formado por oxidação do NO.

Na presença de luz solar e na região da troposfera, ocorre a fotólise de  $NO_2$ , dando origem a um átomo de oxigénio que reage com uma molécula de oxigénio formando  $O_3$ .





Para contrabalançar esta sequência, o NO reage com o O<sub>3</sub> repondo na atmosfera o NO<sub>2</sub> atingindo-se, assim, um equilíbrio de formação – destruição de O<sub>3</sub>. Contudo, existem algumas situações que podem perturbar este equilíbrio (Sousa, 2007):

- Remoção de O<sub>3</sub> durante a noite e Inverno, que ocorre devido às respectivas taxas nula e baixa de fotodissociação, e junto às grandes fontes pontuais, onde as concentrações de NO são muito elevadas;
- Formação de O<sub>3</sub> em períodos diurnos através de uma sequência de reacções entre NO<sub>x</sub>, COV e CO que resulta na conversão directa de NO a NO<sub>2</sub>. De seguida o NO<sub>2</sub> é fotodissociado e forma O<sub>3</sub>.

A relação entre os NO<sub>x</sub>, COVs e O<sub>3</sub> é representada por um gráfico de isolinhas de produção de O<sub>3</sub> (Figura 6).

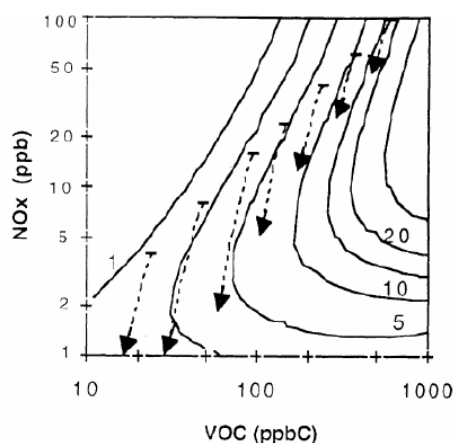


Figura 6 – Gráfico de isolinhas para a taxa líquida de produção de O<sub>3</sub> (ppb/h), em função da concentração de COV's (ppbC) e NO<sub>x</sub> (ppb), para um dia de Verão, com céu limpo (Sillman, 1999).

Da análise deste gráfico verifica-se que a formação de O<sub>3</sub> não é um processo linear e identificam-se dois regimes fotoquímicos diferentes: *NO<sub>x</sub>-sensitive* e *COV-sensitive* (Silman, 1999). No regime *COV-sensitive* a atmosfera está saturada de COVs e a concentração de O<sub>3</sub> apenas aumenta com o aumento da concentração de NO<sub>x</sub>. No regime *NO<sub>x</sub>-sensitive* verifica-se a situação inversa, estando a atmosfera carregada de NO<sub>x</sub> a concentração de O<sub>3</sub> só aumenta com o aumento da concentração de COVs. Segundo Silman (1999) o regime *COV-sensitive* predomina nas grandes cidades (exemplos: Los Angeles, Nova Iorque, Milão entre outras cidades) e nas zonas rurais predomina o regime *NO<sub>x</sub>-sensitive* (existem relatos de algumas excepções, nomeadamente de zonas que sofrem influência directa de plumas urbanas).

As partículas atmosféricas diferem entre si em tamanho, densidade, massa, morfologia, composição química e várias propriedades químicas e físicas. Ao contrário do que se verifica com os restantes poluentes, as PM são consideradas um poluente que resulta de uma mistura de substâncias no estado líquido e sólido, pelo que a sua variedade e origens são enormes. Podem ser emitidas directamente de fontes antropogénicas, por fontes naturais, ou formarem-se como poluente secundário de reacções químicas atmosféricas. Devido a estas características, as PM representam grandes preocupações principalmente no que se refere aos efeitos provocados pela exposição da população, à redução da visibilidade (devido à capacidade das partículas de dispersar a radiação), aos efeitos climáticos globais (também devido à capacidade de dispersão e de absorção de radiação), entre outros (Godish 2004).

### **1.3. OBJECTIVOS E HIPÓTESES DE PESQUISA**

Sendo a incorporação de biocombustíveis um objectivo tanto a nível europeu como nacional e considerando que a região Norte representa cerca de 38% das emissões de GEE do país para o sector dos transportes (Borrego *et al*, 2008), pretende-se com este trabalho avaliar os impactes da incorporação nos transportes de biocombustíveis na Região Norte de Portugal Continental. Para tal são consideradas as seguintes hipóteses de pesquisa:

- a. A utilização de misturas biocombustíveis/combustíveis fósseis no sector dos transportes rodoviários contribui para a diminuição de GEE.
- b. A utilização de biocombustíveis no sector dos transportes na região norte contribui para a melhoria da qualidade do ar em Portugal.

### **1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Para dar resposta às hipóteses de pesquisa colocadas é feita uma pesquisa bibliográfica sobre a importância ambiental e energética do sector dos transportes em Portugal, mais concretamente na emissão de GEE, e quais as principais estratégias Europeias e nacionais para mitigar esses efeitos. Neste contexto no Capítulo 1 foram revistos alguns trabalhos de enquadramento sobre os impactes da introdução dos biocombustíveis no sector dos transportes e de que forma estes podem afectar a qualidade do ar.

No Capítulo 2 é feita uma breve descrição sobre as primeiras utilizações de biocombustíveis em motores diesel de automóveis, sobre os tipos e processos de produção de biodiesel e bioetanol, onde se distinguem as várias gerações de biocombustíveis, e são apresentados os principais factores que afectam as emissões de poluentes. Neste capítulo é ainda feita uma descrição sobre

a situação actual dos biocombustíveis em Portugal – centrais de produção, áreas de culturas energéticas e consumo.

O Capítulo 3 apresenta o caso de estudo. É feita uma caracterização da região Norte que inclui uma breve descrição da situação actual desta região em termos territoriais, populacionais e ambientais, é descrita a abordagem metodológica adoptada, são definidos os cenários de emissão de introdução de biocombustíveis e calculadas, com o recurso ao modelo TREM as emissões associadas, avaliando o impacte nas emissões de GEE. Este capítulo inclui ainda a estimativa, com recurso a modelação numérica, das concentrações dos poluentes atmosféricos e a análise dos impactes na qualidade do ar.

Por último, no Capítulo 4 são apresentadas as conclusões deste estudo e sugeridas algumas melhorias em futuros trabalhos.

## **2. BIOCOMBUSTÍVEIS**

A utilização de biocombustíveis em motores diesel foi feita pelo engenheiro Rudolf Diesel em 1892, ano em que lançou uma obra intitulada *“The theory and construction of a rational heat engine”*. Na sua obra Rudolf Diesel descrevia um motor revolucionário onde o ar era comprimido por um pistão até atingir pressões bastante elevadas obtendo, assim, temperaturas muito altas. Este motor foi originalmente desenhado para funcionar com óleo vegetal como combustível (Demirbas 2009). Só em 1900 Rudolf Diesel utilizou o óleo de amendoim como combustível nos motores desenhados por si. No entanto, devido às diferentes características do óleo de amendoim, o desempenho dos motores não foi o esperado. Com o preço do diesel baixo, mais abundante, leve e menos viscoso que os óleos vegetais, a sua utilização como combustível foi colocada de parte durante algumas décadas.

Foi em 1970, com os dois primeiros choques petrolíferos que se retomou a questão dos biocombustíveis. Porém, na década de 80, a diminuição do preço de petróleo levou a uma diminuição do interesse pelos biocombustíveis. Com o aparecimento e implementação da Política Agrícola Comum na Europa, em 1992, ressurgiu a introdução de uma fileira de produção e utilização de biocombustíveis em diversos países da UE (Rosa 2006). Contudo, só em 2001 é que a UE começou a preocupar-se mais com esta questão, altura em que se iniciou a elaboração da Directiva n.º 2003/30/CE, revogada posteriormente pela Directiva 2009/28/CE.

### **2.1. TIPOS DE BIOCOMBUSTÍVEIS E PROCESSOS DE PRODUÇÃO**

A Europa possui um elevado potencial de biomassa disponível, o que serve de base para as metas definidas pela UE. A agricultura e os resíduos florestais e orgânicos enquanto fontes de biomassa podem fornecer calor, energia e combustíveis para os transportes de uma forma ambientalmente sustentável (Gomes 2010).

Apesar de não haver unanimidade na classificação de biocombustíveis, todos são classificados por gerações – da 1.ª geração à 4.ª geração.

A classificação de biocombustíveis em duas gerações baseia-se no tipo de matérias-primas utilizadas (alimentares ou não alimentares) e nas tecnologias de conversão dessas matérias (Timilsina & Shrestha, 2010). Segundo esta classificação, biocombustíveis de 1.ª geração são aqueles que utilizam matérias-primas alimentares como cana-de-açúcar e cereais para a produção de etanol, ou como óleo de palma e soja para a produção de biodiesel. Por outro lado, biocombustíveis produzidos a partir de biomassa lenhocelulósica, como resíduos florestais, são

considerados de 2.ª geração, assim como os biocombustíveis produzidos a partir de matérias-primas avançadas (por exemplo, micro-algas, cártamo, cardo, entre outros) (Timilsina & Shresthe, 2010).

A classificação de biocombustíveis em quatro gerações difere da classificação em duas gerações relativamente às matérias-primas utilizadas na produção de biocombustíveis de 2.ª geração. Os biocombustíveis de primeira geração utilizam como principais matérias-primas sementes ou grãos, como o trigo, que produz amido que é fermentado dando origem ao bioetanol, ou como as sementes de girassol, que são prensadas para produzir óleo vegetal e ser usado em biodiesel. Biocombustíveis de segunda geração são produzidos a partir de culturas não alimentares, palha de trigo, madeira, resíduos sólidos e culturas energéticas utilizando tecnologias avançadas. A terceira geração de biocombustíveis é obtida a partir de algas, considerada matéria-prima de baixo consumo/alto rendimento. Por último, os biocombustíveis de quarta geração baseiam-se na conversão de óleo vegetal e biodiesel em biogasolina (Demirbas, 2009). Na Tabela 4 é apresentado um resumo da classificação de biocombustíveis em quatro gerações segundo o tipo de matérias-primas utilizadas.

Tabela 4- Classificação de biocombustíveis em quatro gerações (adaptado de Demirbas, 2009).

| Geração     | Matéria-prima   | Exemplos                          |
|-------------|---|-----------------------------------|
| 1.ª Geração | Açúcar, amido, óleo vegetal, gordura animal   | Bioalcool, biodiesel, biogas      |
| 2.ª Geração | Culturas não alimentares, palha de trigo, madeira, resíduos sólidos, culturas energéticas | Biohidrogénio, bioalcool, bio-DMF |
| 3.ª Geração | Algas   | Óleo vegetal, biodiesel           |
| 4.ª Geração | Óleo vegetal, biodiesel   | Biogasolina                       |

### Processos de Produção

Actualmente apenas são produzidos e comercializados dois tipos de biocombustíveis susceptíveis de utilização no sector dos transportes: o biodiesel e o bioetanol (Santos, 2009).

O biodiesel pode se produzido segundo 3 vias (Majer *et al.*, 2009):

- Conversão físico-química por reacção de transesterificação de óleo vegetal e animal, que é uma das vias de produção de biodiesel mais recorrentes;
- Conversão físico-química por hidrogenação de bio-óleos (como o óleo de palma) integrada nos processos de refinaria que estão estabelecidos para a produção do diesel convencional; esta via apenas é uma opção de “nicho”;

- Conversão termo-química por meio de gaseificação de biocombustíveis sólidos (por exemplo, biomassa lenhosa), tratamento do gás e posterior síntese do combustível; trata-se um processo complexo que ainda está em fase de desenvolvimento.

Na conversão físico-química por reacção de transesterificação, o óleo vegetal pode ser extraído por “prensamento mecânico” de sementes (de girassol, de soja, etc.) ou por extracção com um solvente. Devido à elevada viscosidade e ao baixo número de cetano (capacidade de auto-ignição), o óleo extraído das sementes não pode ser utilizado directamente como combustível. Para obter características compatíveis com os motores diesel, o óleo vegetal tem de sofrer uma reacção de transesterificação com um álcool, normalmente o metanol, na presença de um catalisador, como o hidróxido de potássio [URL 3]. Desta reacção forma-se glicerina e metilester que, após separação, é lavado para remover o sabão formado durante a reacção, bem como alguns resíduos como o glicerol e o álcool (Majer et al., 2009). A Figura 7 representa um dos exemplos dos processos de produção de biodiesel.

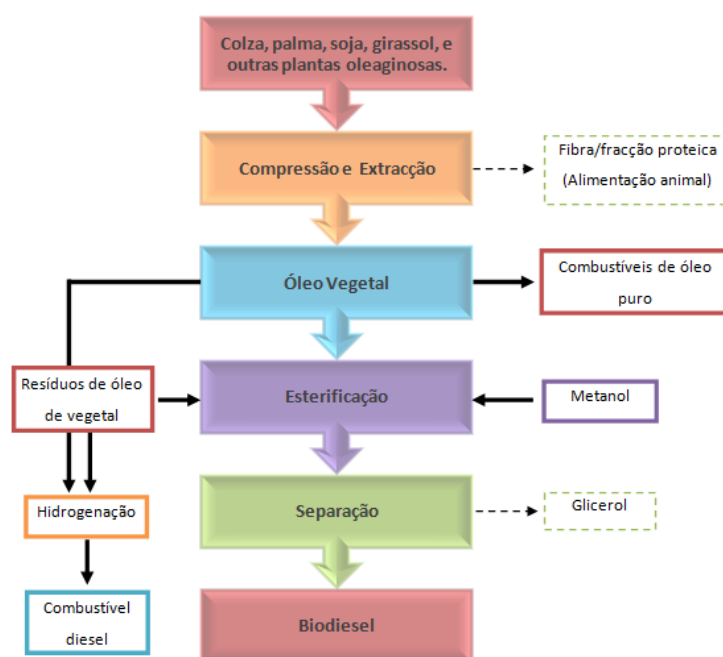


Figura 7- Exemplo de um processo de produção de biodiesel a partir de óleos vegetais (Adaptado de *European Biofuels Technology Platform*, 2007).

A União Europeia ocupa o primeiro lugar de produtores de biodiesel no mundo, seguido pelos EUA em 2.º e o Brasil em 3.º. Em 2009 a produção europeia atingiu os 10 187 Mil Milhões de litros, sendo a Alemanha e a França os maiores produtores de biodiesel com um peso de cerca de

60% do total produzido na UE. Portugal encontra-se em 8º lugar na lista dos maiores produtores da Europa (Figura 8) [URL 4].

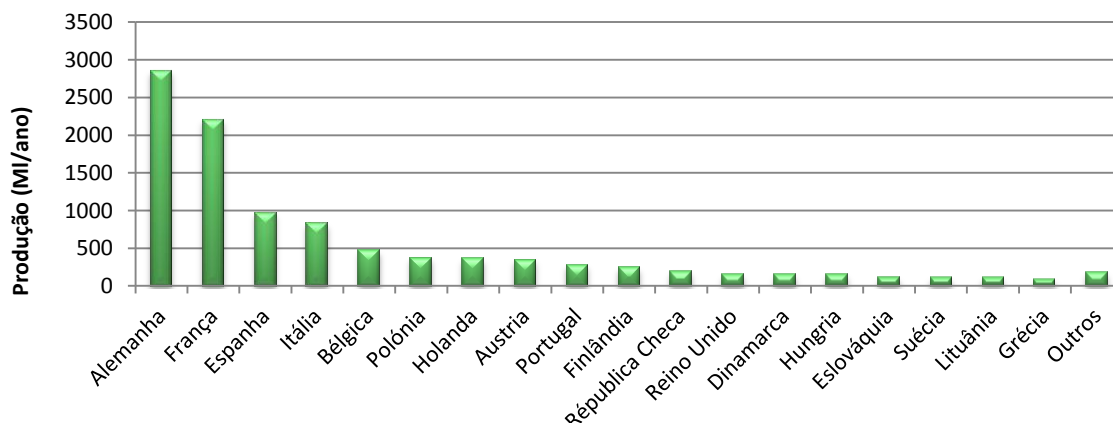


Figura 8- Gráfico da produção de Biodiesel na UE-27 em 2009 (Adaptado de [URL 3]).

O bioetanol é produzido a partir de fontes de biomassa ricas em açúcar ou em outros materiais que possam ser posteriormente convertidos em açúcar, como o amido, por exemplo. São conhecidos três processos de produção de bioetanol(Gomes 2010):

- i. A partir da fermentação de açúcares derivados de amido de cereais, da beterraba sacarina ou de culturas ricas em açúcar utilizando microrganismos;
- ii. A partir da fermentação de açúcares provenientes de culturas lenho-celulósicas;
- iii. Utilização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas, resíduos florestais, resíduos sólidos urbanos e resíduos de processamento de alimentos.

Todos os açúcares fermentáveis, como a glucose e a sacarose, podem ser convertidos em etanol por fermentação. Dependendo do estado de polimerização, o açúcar é sujeito a vários processos até se tornar num açúcar simples fermentável. Após a fermentação o etanol é recuperado por destilação, seguido por um processo de desidratação, do qual resulta o bioetanol de 1.ª geração [URL 5].

O bioetanol de 2.ª geração é produzido a partir de biomassa lenhocelulósica, que é composta, essencialmente, por celulose (polímero de glicose) e hemicelulose (polímero de xilose e outros açúcares C5-C6). Os compostos da biomassa, para serem fermentáveis, são convertidos em açúcares simples (à semelhança do que acontece com todo o tipo de biomassa utilizada para produzir bioetanol a partir da fermentação) por hidrólise, ácida ou enzimática. Apesar da hidrólise ácida ser a técnica vulgarmente mais utilizada, a hidrólise enzimática tem sido aplicada em algumas unidades piloto e tem demonstrado maior potencial, tanto a nível de custos como de sustentabilidade. A “Biogasol”, da Dinamarca, e a “Sekab”, da Suécia, são exemplos de empresas

que instalaram estações piloto utilizando a hidrólise enzimática com capacidade de produção de 15 000 litros/ano (2006) e 120 000litros/ano (2004) de bioetanol, respectivamente [URL 5].

Na Figura 9 é apresentado um esquema que resume os três tipos de processos de produção de bioetanol.

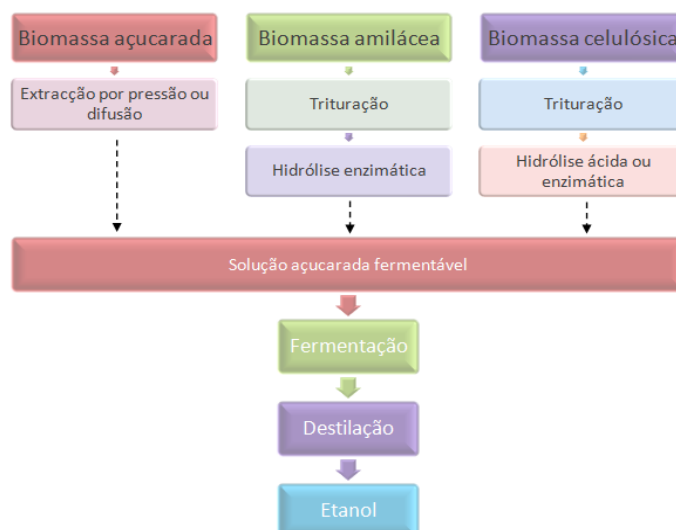


Figura 9- Processos de produção do bioetanol (adaptado de Gomes, 2010).

Os maiores produtores de bioetanol do mundo são os EUA (54%) e o Brasil (34%), seguidos pela UE com uma contribuição de, aproximadamente, 5%. A produção europeia de bioetanol fica muito aquém da produção de biodiesel, tendo-se atingido em 2009 um total de 3073 Mil Milhões de litros de bioetanol (a produção de biodiesel, no mesmo ano, foi 250 vezes superior) [URL 5].

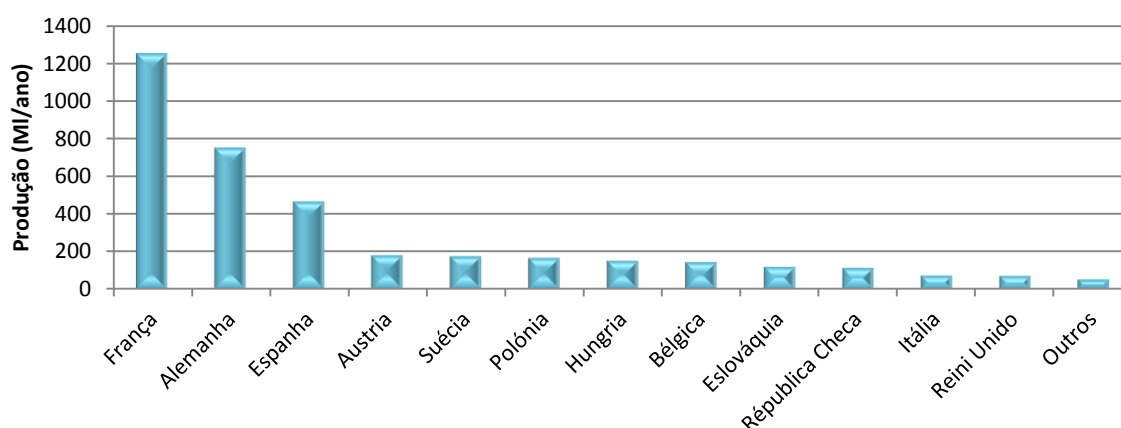


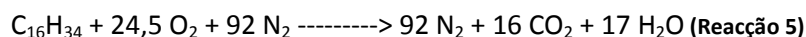
Figura 10- Gráfico da produção de Bioetanol na UE-27 em 2009 (Adaptado de [URL 5]).



## 2.2. FACTORES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Nos últimos anos têm sido realizados vários estudos experimentais na tentativa de perceber a influência do uso de biodiesel nas emissões de poluentes atmosféricos. Muitos destes estudos focam-se nas emissões de poluentes regulamentados como NO<sub>x</sub>, PM, CO e COV e nas diferenças entre as emissões derivadas dos combustíveis fósseis e várias taxas de incorporação de biodiesel (Winther, 2009).

A principal característica que diferencia os biocombustíveis dos combustíveis convencionais, em termos de composição química, é o teor em oxigénio. A fórmula geral do diesel é C<sub>16</sub>H<sub>34</sub> e a sua reacção de combustão é representada na reacção 5.



Por cada kg de diesel que reage forma-se 3,1 kg de CO<sub>2</sub>, sendo a razão combustível/ar para que a combustão seja completa de 1:14,9. A combustão de 1 kg de biodiesel de soja – C<sub>19</sub>H<sub>36</sub>O<sub>2</sub> – com uma razão combustível/ar de 1:12,5 origina, por sua vez, 2,8 kg de CO<sub>2</sub> (Hansen 2008).

A incorporação de biodiesel no diesel convencional melhora as propriedades do combustível, como o número de cetano e o teor em oxigénio, contribuindo para uma menor velocidade de ignição (período entre a injeção de combustível e o início da combustão) e uma melhor distribuição dos oxidantes. A presença de oxigénio no biodiesel representa uma melhoria significativa na combustão reduzindo as emissões de HC, de CO e de PM, provocando, também, o aumento das emissões de NO<sub>x</sub>. “O NO forma-se por oxidação dos compostos de azoto presentes no combustível, devido à reacção de radicais NH<sub>i</sub> (i=0,1,2,3) e à reacção destes com O<sub>2</sub>. O NO<sub>2</sub> pode ser formado a partir de reacções com radicais hidroperóxido (HO<sub>2</sub>) em condições de temperatura baixa. A conversão de NO<sub>2</sub> em NO ocorre rapidamente em regiões de temperaturas elevadas, associadas a misturas ricas e com concentrações elevadas de hidrogénio e oxigénio (Silva, 2009).”

Do ponto de vista das propriedades físicas, o biodiesel apresenta maior viscosidade e densidade relativamente ao diesel convencional. Estas características podem provocar alterações na injeção e combustão do biodiesel. O poder calorífico do biodiesel é menor do que o do diesel convencional, o que provoca perdas de energia que têm de ser compensadas pelo aumento de quantidade de combustível durante a injeção, induzindo alterações no tempo de injeção de combustível e no início da combustão. Como resultado a temperatura de combustão e a pressão aumentam, levando ao aumento das emissões de NO<sub>x</sub> (Moreira, 2008).

Segundo um artigo publicado por Xue *et al* (2011), onde são revistos vários estudos que descrevem os efeitos do uso de biodiesel na *performance* de motores e nas emissões, os principais factores que afectam a emissão de PM, NOx, CO e HC são:

- A percentagem de incorporação de biodiesel;
- As propriedades e matérias-primas do biodiesel;
- O tipo de motor e as condições de operação;
- Os aditivos.

As conclusões a que Xue *et al* (2011) chegou no final do trabalho acima referido são apresentadas a seguir.

#### ***Emissões de PM***

O autor conclui que a maioria dos trabalhos feitos por outros autores/investigadores mostra que as emissões de PM são significativamente menores quando se utiliza biodiesel e que a redução destas emissões é tanto maior quanto maior for a incorporação de biodiesel no diesel convencional. Esta tendência deve-se principalmente ao elevado teor em oxigénio no biodiesel, mas também ao baixo conteúdo de compostos aromáticos e de enxofre e ao elevado número de cetano. A maioria dos investigadores concorda, também, que quanto maior for a potência do motor maiores serão as emissões de PM. A utilização de sistemas de recirculação de gás (em inglês, *Exhaust Gas Recirculation*- EGR) pode adulterar as emissões de PM de biodiesel, embora o nível de emissões se mantenha inferior ao de diesel convencional. Devido ao seu efeito catalisador, os aditivos à base de metais revelaram ser eficazes na redução das emissões de PM.

#### ***Emissões de NOx***

A maior parte dos trabalhos analisados por Xue *et al* (2011) mostram que as emissões de NOx aumentam com o uso de biodiesel, o que pode ser explicado pelo elevado teor em oxigénio. Além disso, o número de cetano e as diferentes características de injeção também têm algum impacto nas emissões de NOx. No que refere à potencia do motor, verifica-se a mesma tendência que as emissões de PM; ou seja, quanto maior for a potencia do motor, maiores serão as emissões de NOx para o biodiesel. Apesar do uso de EGR poder reduzir as emissões de NOx, a taxa de recirculação pode não ser adequada nas mesmas condições para motores biodiesel, devido às alterações provocadas na combustão. Os aditivos metálicos, oxidativos, entre outros, parecem ser uma boa forma de melhorar as emissões de NOx, mas será necessário aprofundar os

conhecimentos nas outras emissões e na *performance* dos motores, principalmente no que diz respeito à potência.

#### ***Emissões de CO***

A maioria da bibliografia revista neste trabalho mostra que as emissões de CO diminuem devido ao elevado teor de oxigénio e à baixa razão carbono/hidrogénio do biodiesel em comparação com o diesel convencional. Neste sentido, quanto maior for a percentagem de incorporação de biodiesel no diesel convencional, menores são as emissões de CO. O tipo de matérias-primas utilizadas e as propriedades do biodiesel também afectam as emissões de CO. O biodiesel tem um número elevado de cetano, do qual resulta uma baixa probabilidade de formação de zonas ricas em combustível, diminuindo as suas emissões. Sendo o teor de oxigénio um dos factores que contribui para a diminuição ou aumento das emissões de CO, e sendo o biodiesel um combustível produzido à base de matéria orgânica, quanto maior for o teor de oxigénio nas matérias-primas, menores serão as emissões de CO. Este trabalho prova, também, que a potência do motor tem um impacto bastante significativo nas emissões deste poluente – quanto maior for a potência do motor, maiores são as emissões. A grande maioria dos investigadores conclui que as emissões de CO com o biodiesel diminuem com o aumento da velocidade do motor. Os aditivos à base de metais também reduzem as emissões, mas o metanol e etanol pode também melhorar as emissões CO.

#### ***Emissões de COV***

À semelhança do que acontece com o CO e as PM, grande parte da bibliografia utilizada neste estudo conclui que as emissões de COV reduzem quando se utiliza biodiesel e que essas emissões podem ser menores quanto maiores forem as percentagens de incorporação de biodiesel. No que diz respeito às propriedades do biodiesel, quanto maior for o comprimento de cadeia ou o nível de saturação maior será a redução de emissões de COV. Outro aspecto comum à emissão de CO e PM é o teor em oxigénio, que quanto maior for menores serão as emissões de COV. No entanto, vários investigadores explicam que esta redução se deve não só ao elevado teor em oxigénio, mas também ao elevado número de cetano. Conclui-se, também, que as emissões de COV são tanto maiores quanto maior for a potência do motor, havendo no entanto alguns investigadores que apesar de concordarem com esta tendência, provaram que a maior redução de emissões de COV ocorre para potências intermédias. Os aditivos à base de metais mostraram ser menos eficientes na redução das emissões de COV comparativamente com os outros poluentes.

No âmbito de implementação do projecto “Renewable energy in the transport sector using biofuels as an energy carrier” (REBECA) Winther (2009) recolheu vários estudos e dados experimentais publicados mais relevantes para o estudo da variação das emissões no sector automóvel decorrentes do uso de biodiesel e do diesel convencional. Este trabalho teve como objectivo criar novas funções que descrevam a variação no consumo de combustíveis e a diferença entre as emissões provocadas pelo diesel convencional e misturas de biodiesel. Para tal foram escolhidas duas categorias de veículos: pesados de mercadorias (classe 3 e classes 4/5) e ligeiros de passageiros (classe 3). Relativamente aos veículos pesados de mercadorias, a relação entre a percentagem de incorporação de biodiesel e as emissões de NO<sub>x</sub>, PM, COV e CO teve como base os pressupostos da EPA (2002). Os resultados obtidos são apresentados na Figura 11.

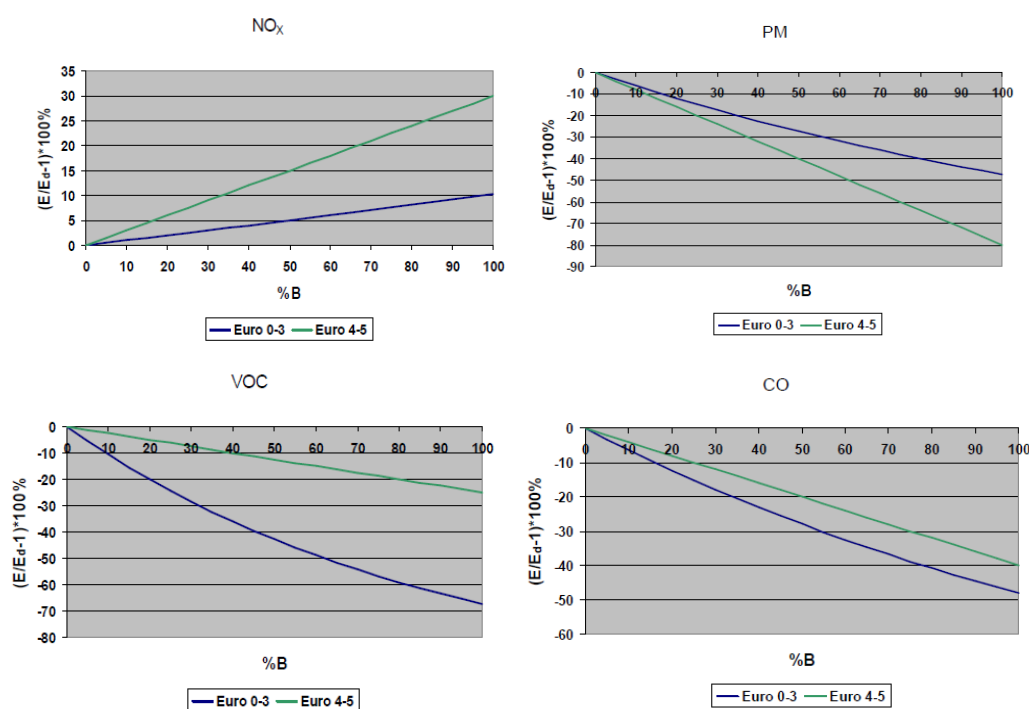


Figura 11 - Consumo de combustível e variações nas emissões em função da % de biodiesel utilizada em veículos pesados de mercadorias (fonte: Winther, 2009)

Ntziachristos *et al* (2007) considerou para a classe 3 de veículos pesados de mercadorias um número limitado de estudos cujos valores obtidos foram muito idênticos aos obtidos pela EPA (2002). Para a classe 4, Winther (2009) considera que o estudo mais completo para veículos modernos foi realizado por McCormivk et al. (2005) e que existem apenas 3 estudos que podem ser considerados relevantes para comparação com este último.

No que diz respeito ao poluente NO<sub>x</sub>, Krahle *et al.* (2007) utilizou veículos equipados com um sistema de redução selectiva catalítica (em inglês, SCR) utilizado em alguns países para reduzir as emissões deste poluente. Foram comparadas as emissões decorrentes do uso do diesel convencional e de biodiesel a 100%. O autor obteve valores idênticos a Sze *et al.* (2007), que também comparou as emissões do uso de diesel convencional e de misturas de 20 e 50% de biodiesel em veículos com sistema de recirculação de gases (em inglês, EGR). Por outro lado, Knothe *et al.* (2006) comparou as emissões de um veículo moderno equipado com um sistema EGR utilizando diesel e quatro tipos diferentes de biodiesel. Os resultados mostram que as variações estimadas estão na mesma linha das estimadas pela EPA (2002) para veículos cujas tecnologias são mais antigas.

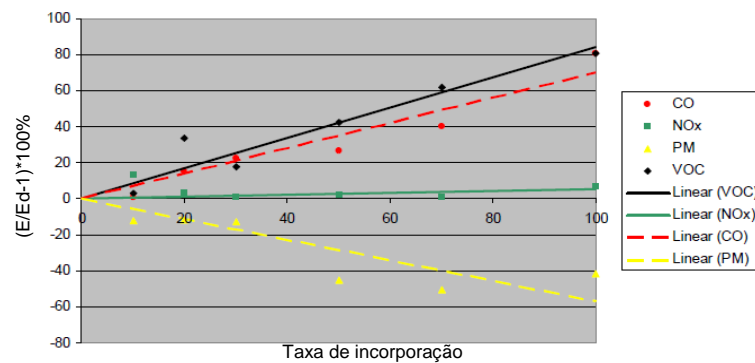
Para PM McCormick *et al.* (2006) estimou uma diminuição nas emissões deste poluente na ordem dos 80% à semelhança dos resultados obtidos por Knothe *et al.* (2006). Krahle *et al.* (2007) chegou a variações entre -60% e -70%, enquanto que Sze *et al.* (2007) estimou reduções à volta dos 60% para taxas de incorporação de biodiesel de 60%.

Relativamente aos poluentes CO e COV, Knothe *et al.* (2006) chegou a diminuições médias nas emissões destes poluentes de 36% (CO) e 47% (COV), McCormick *et al.* (2006) obteve variações médias de -40% (CO) e -25% (COV), enquanto os valores obtidos por Sze *et al.* (2007) são ligeiramente superiores aos anteriores.

Na análise dos trabalhos de investigação relativos às emissões nos veículos ligeiros de passageiros de classe EURO 3, Winther (2009) considerou 4 autores cujas variações nas emissões são descritas para os poluentes COV, NO<sub>x</sub>, CO e PM.

Martini *et al.* (2007) fez testes em dois carros de classe EURO 3 e utilizou três tipos de biodiesel em misturas de 30%, dois tipos de biodiesel puro e diesel convencional. O estudo levado a cabo por Fontaras *et al.* (2008a) utilizou cinco tipos diferentes de biodiesel em incorporações de 10% e diesel convencional. Os padrões de conduções foram os utilizados no Novo Ciclo Europeu de Condução (em inglês, NEDC) e nos ciclos de ARTEMIS urbanos, rurais e de auto-estradas. Fontaras *et al.* (2007) seguiu os mesmos padrões mas utilizou diesel convencional e dois tipos de biodiesel em incorporações de 10%.

As diferenças médias nas emissões de B10, B20, B30, B50, B70 e B100 foram calculadas com base nos estudos acima mencionados e os resultados apresentam-se na Figura 12.



**Figura 12-** Consumo de combustível e variação nas emissões em função da % de incorporação de biodiesel em veículos ligeiros de passageiros e carrinhas a diesel (fonte: Winther, 2009).

Winther (2009) conclui que para a categoria de veículos ligeiros de passageiros devem ser feitas mais medições das emissões a fim de se obter maior coerência entre as variações. Aconselha, ainda, que a classe EURO 4 deve ser prioritária nestas medições uma vez que é a mais importante do ponto de vista da composição do parque automóvel. Para os veículos pesados de mercadorias de classe EURO 3, o autor considera que as funções que afectam as emissões dos poluentes analisados foram bem examinadas. Para as classes EURO 4/5 foram publicados poucos resultados sobre as emissões nestas classes, o que não permitiu desenvolver muito o trabalho neste sentido. Dermibas (2009) descreve no seu livro *“Biofuels: securing the planet’s future energy needs”* a diferença entre as emissões de poluentes atmosféricos provenientes do uso de biocombustíveis e do diesel convencional. Para o caso de CO e SO<sub>2</sub>, quando é incorporada uma percentagem de 20% de biodiesel no diesel convencional as emissões diminuem 12% e 20%, respectivamente. Quando é utilizado biodiesel a 100% as emissões de CO e SO<sub>2</sub> diminuem 67% e 100%, respectivamente. Contudo, em relação ao NOx, o mesmo já não acontece; a utilização de biodiesel a 100% induz um aumento de 10% nas emissões deste poluente.

O Guia de Inventário das emissões de poluentes atmosféricos desenvolvido pela EMEP/EEA (2009) sugere algumas diferenças nas emissões causadas pela incorporação de biodiesel em veículos ligeiros de passageiros, ligeiros comerciais e pesados de mercadorias (Tabela 5). Estas diferenças nas emissões estão relacionadas com as diferentes percentagens de incorporação de biodiesel e as diferentes categorias de veículos e correspondem a classes de veículos EURO III.

Tabela 5 - Efeito da incorporação de biodiesel nas emissões de veículos (adaptado de EMEP/EEA, 2009).

| Poluente        | Tipo de veículo         | B10    | B20    | B100   |
|-----------------|-------------------------|--------|--------|--------|
| CO <sub>2</sub> | Ligeiros de passageiros | -1.5%  | -2.0%  | 0.1%   |
|                 | Ligeiros comerciais     | -0.7%  | -1.5%  |        |
|                 | Pesados de mercadorias  | 0.2%   | 0.0%   |        |
| NO <sub>x</sub> | Ligeiros de passageiros | 0.4%   | 1.0%   | 9.0%   |
|                 | Ligeiros comerciais     | 1.7%   | 2.0%   |        |
|                 | Pesados de mercadorias  | 3.0%   | 3.5%   |        |
| PM              | Ligeiros de passageiros | -13.0% | -20.0% | -47.0% |
|                 | Ligeiros comerciais     | -15.0% | -20.0% |        |
|                 | Pesados de mercadorias  | -10.0% | -15.0% |        |
| CO              | Ligeiros de passageiros | 0.0%   | -5.0%  | -20%   |
|                 | Ligeiros comerciais     | 0.0%   | -6.0%  |        |
|                 | Pesados de mercadorias  | -5.0%  | -9.0%  |        |
| COV             | Ligeiros de passageiros | 0.0%   | -10.0% | -17.0% |
|                 | Ligeiros comerciais     | -10.0% | -15.0% |        |
|                 | Pesados de mercadorias  | -10.0% | -15.0% |        |

Estas diferenças descritas na Tabela 5 foram determinadas com base nos seguintes parâmetros:

- Densidade a 15°C (kg/m<sup>3</sup>) - DEN
- Teor em enxofre (ppm) – S;
- Teor em compostos aromáticos policíclicos (PAH) (%) – PAH;
- N.º de cetano – CN;
- Destilação (°C) – T95.

A partir destes parâmetros foram definidas as equações dos factores de correcção para cada poluente (Tabela 6 e Tabela 7).

Tabela 6 - Relação entre as emissões e as propriedades do combustível para veículos ligeiros de passageiros e de mercadorias a diesel (fonte: EMEP/EEA, 2009).

| Poluente        | Equação do factor de correcção   |
|-----------------|--|
| CO              | $F_{corr} = -1.3250726 + 0.003037 \times DEN - 0.0025643 \times PAH - 0.015856 \times CN + 0.0001706 \times T95$   |
| COV             | $F_{corr} = -0.293192 + 0.0006759 \times DEN - 0.0007306 \times PAH - 0.0032733 \times CN - 0.000038 \times T95$   |
| NO <sub>x</sub> | $F_{corr} = 1.0039726 - 0.0003113 \times DEN + 0.0027263 \times PAH - 0.0000883 \times CN - 0.0005805 \times T95$  |
| PM              | $F_{corr} = (-0.3879873 + 0.0004677 \times DEN + 0.0004488 \times PAH + 0.0004098 \times CN + 0.0000788 \times T95) \times [1 - 0.015 \times (450 - S)/100]$ |

Tabela 7 - Relação entre as emissões e as propriedades do combustível para veículos pesados de mercadorias a diesel (fonte: EMEP/EEA, 2009)

| Poluente | Equação do factor de correcção  |
|----------|---|
| CO       | $F_{corr} = 2.24407 - 0.0011 \times DEN + 0.00007 \times PAH - 0.00768 \times CN - 0.00087 \times T95$                        |
| COV      | $F_{corr} = 1.61466 - 0.00123 \times DEN + 0.00133 \times PAH - 0.00181 \times CN - 0.00068 \times T95$                       |
| NOx      | $F_{corr} = -1.75444 + 0.00906 \times DEN - 0.0163 \times PAH + 0.00493 \times CN + 0.00266 \times T95$                       |
| PM       | $F_{corr} = [0.06959 + 0.00006 \times DEN + 0.00065 \times PAH - 0.00001 \times CN] \times [1 - 0.0086 \times (450 - S)/100]$ |

### 2.3. SITUAÇÃO ACTUAL DOS BIOCOMBUSTÍVEIS EM PORTUGAL

#### Culturas Energéticas

Segundo dados fornecidos pelo Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território (MAMAOT) existiam em 2009 8 concelhos (Tabela 8) onde se produzem culturas energéticas, perfazendo um total de 2169 hectares [URL 6].

Tabela 8 - Área de culturas energéticas por concelho segundo os dados do MAMAOT relativos aos subsídios de apoio (adaptado de [URL 6]).

| NUTS III         | Concelho             | Produtores Inscritos (n.º) | Área Declarada (ha) |
|------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|
| OESTE            | Alenquer             | 1                          | 3                   |
| ALENTEJO LITORAL | Alcácer do Sal       | 1                          | 26                  |
| ALENTEJO CENTRAL | Portel               | 1                          | 50                  |
| BAIXO ALENTEJO   | Aljustrel            | 18                         | 748                 |
|                  | Beja                 | 22                         | 1 111               |
|                  | Ferreira do Alentejo | 18                         | 137                 |
|                  | Vidigueira           | 1                          | 25                  |
| LEZIRIA DO TEJO  | Santarém             | 3                          | 68                  |
| TOTAL            |                      | 60                         | 2 169               |

Embora não seja dada informação no site do MAMAOT sobre o tipo de culturas energéticas cultivadas em 2009 e noutros anos, dados do LNEG (2010) revelam que as principais matérias-



primas utilizadas em 2007 na produção de biodiesel de 1.ª geração de origem portuguesa são a colza (66 ton) e o girassol (5833 ton), representando cerca de 3,2%.

Apesar de Portugal ainda não produzir bioetanol, é um dos países da União Europeia com maior potencial de produção com cerca de 38% da superfície coberta por floresta e 5040 milhares de hectares de terras para fins agrícolas (Gomes 2010). Na produção de bioetanol as culturas energéticas mais utilizadas são as ricas em celulose, açúcar e amido, sendo que em Portugal as culturas energéticas com maior interesse são os cereais, como a cevada e o milho, e os tubérculos, como a batata [URL 5]. Na Tabela 9 é apresentado o potencial de produção de bioetanol em Portugal.

Tabela 9- Potencial de produção de bioetanol em Portugal Continental (m<sup>3</sup>) (Adaptado de [URL 7])

| Culturas energéticas | Entre Douro e Minho (m <sup>3</sup> ) | Trás-os-Montes (m <sup>3</sup> ) | Beira Litoral (m <sup>3</sup> ) | Beira Interior (m <sup>3</sup> ) | Ribatejo e Oeste (m <sup>3</sup> ) | Alentejo (m <sup>3</sup> ) | Algarve (m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Trigo                | 30                                    | 7016                             | 873                             | 989                              | 11924                              | 114427                     | 1272                      |
| Cevada               | 2                                     | 94                               | 30                              | 28                               | 1088                               | 6341                       | 268                       |
| Milho                | 64131                                 | 5097                             | 688864                          | 15781                            | 120502                             | 61470                      | 2790                      |
| Batata               | 8514                                  | 15232                            | 27502                           | 6971                             | 18834                              | 2251                       | 1707                      |
| Baterraba Sacarina   | -                                     | -                                | 982                             | -                                | 30463                              | 12597                      | -                         |

No âmbito do projecto REFUEL, que tem como principal objectivo incentivar o aumento da introdução no mercado de biocombustíveis na Europa, foram criados quatro cenários - um de referência (*baseline*) e outros 3 para o ano 2030 (*low*, *baseline* e *high*) - de áreas de terrenos destinadas ao cultivo de matérias-primas para produção de biocombustíveis. Na construção destes cenários foram projectadas as necessidades futuras de terrenos destinados ao sector agrícola e pecuário com base na procura de alimentos. Com base nestes pressupostos foram calculadas as áreas destinadas ao cultivo de produtos alimentares, de matérias-primas para produção de biocombustíveis e as áreas para o sector da construção. Para Portugal, as estimativas feitas para cenário *baseline* de 2030 apontam para cerca de 735 000 hectares de terrenos passíveis de cultivo de matérias-primas para a produção de biocombustíveis (cerca de 3,86% do total de terrenos disponíveis na EU-15 - Tabela 10).

Tabela 10 – Uso de terrenos para cultivo estimado para 2030 (Cenário *baseline*) (Fonte: Fischer *et al*, 2007 )

| País                 | Área necessária para a produção de bens alimentares (x1000 ha) | Área passível de produção de MP para biocombustíveis (x1000 ha) | Área destinada ao sector da produção (x1000 ha) |
|----------------------|--|---|---|
| Áustria              | 1045   | 356   | 64  |
| Bélgica - Luxemburgo | 795  | 83  | 73  |
| Alemanha             | 8174   | 3020  | 826   |
| Dinamarca            | 1498   | 664   | 126   |
| Espanha              | 13420  | 4694  | 398   |
| Finlândia            | 1111   | 965   | 116   |
| França               | 14210  | 3693  | 806   |
| Grécia               | 3152   | 637   | 65  |
| Irlanda              | 839  | 219   | 21  |
| Itália               | 8784   | 2002  | 498   |
| Holanda              | 944  | 76  | 22  |
| Portugal             | 1893   | 735   | 77  |
| Suécia               | 1722   | 786   | 197   |
| Reino Unido          | 4023   | 1100  | 178   |
| EU15                 | 61610  | 19030   | 3467  |
| Suíça                | 365  | 73  | 9   |
| Noruega              | 582  | 163   | 140   |
| República Checa      | 1673   | 1534  | 112   |
| Eslováquia           | 760  | 767   | 49  |
| Hungria              | 2343   | 2242  | 117   |
| Países Bálticos      | 1722   | 786   | 197   |
| Polónia              | 7614   | 6842  | 422   |
| Eslovénia            | 157  | 33  | 11  |
| Chipre               | 137  | 0   | 3   |
| Malta                | 8  | 0   | 1   |
| Bulgária             | 1582   | 2969  | 85  |
| Roménia              | 4213   | 5490  | 205   |
| EU12                 | 20209  | 20663   | 1202  |
| Ucrânia              | 10432  | 22483   | 556   |

#### Centrais de Produção

Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (2011), actualmente existem cinco grandes produtores de biodiesel (aos quais foi atribuída isenção parcial de ISP):

- Torrejana de Biocombustíveis, S.A.,
- Iberol – Sociedade de Biocombustíveis e Oleaginosas, S.A.,

- Prio Biocombustíveis, S.A.,
- Sovena Oilseeds Portugal S.A.,
- Biovegetal – Combustíveis Biológicos e Vegetais, S.A.

Estima-se que a capacidade total instalada para a produção de biodiesel em Portugal seja, aproximadamente, 549 600 ton. Em 2007, as principais matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel de 1.ª geração foram a soja, a colza, o girassol e a palma, perfazendo um total de 183 004 ton (Oliveira *et al.*, 2010).

A Torrejana, sediada no distrito de Santarém, deu início à produção de biodiesel em 2005 e possui uma capacidade de produção instalada de 109 500 ton(2010), sendo as principais matérias-primas a colza e a soja [URL 7].

Situada em Vila Franca de Xira, a Iberol tem como objectivo a produção e comercialização de biocombustíveis e dos seus subprodutos, assim como o aproveitamento industrial e comercialização de sementes oleaginosas e seus derivados [URL 8]. A empresa possui duas unidades de produção com uma capacidade instalada de 120 000 ton, e utiliza como principais matérias-primas o girassol, a palma, a soja e a colza (Monteiro, 2009). Para além disso, os óleos alimentares usados resultantes da fritura de alimentos também são utilizados como matéria-prima para a produção de biodiesel (Monteiro, 2009).

A Prio Biocombustíveis, que integra o grupo Martifer, localiza-se em Aveiro e iniciou a produção de biodiesel em 2007, utilizando as sementes de colza e girassol como matérias-primas provenientes de terrenos agrícolas no Brasil e na Roménia. É actualmente a única empresa portuguesa que actua em toda a cadeia de valor do biodiesel, desde a produção agrícola à distribuição e possui duas unidades de produção, uma em Portugal e outra na Roménia (Martifer Group, 2008). Na Tabela 11 é apresentado um resumo sobre a capacidade de produção de biodiesel dos restantes dois grandes produtores.

O grupo Sovena dedica uma pequena parte do seu negócio à produção de biodiesel cuja capacidade estimada é de 95000 ton/ano. Com início da sua actividade em 2007, a fábrica de produção de biodiesel é constituída por duas unidades que correspondem às duas etapas de processo totalmente automáticas e controladas. Na unidade de pré-tratamento, decorre o processo de refinação física do óleo cru, que é desgomado, neutralizado e seco, preparando-o para a reacção de estefiricação que ocorre na segunda unidade. A reacção de transesterificação utiliza o metanol e um catalisador (metilato de sódio) do qual resulta o biodiesel e glicerina.

Tabela 11- Principais produtores de biodiesel e respectiva capacidade instalada segundo dados da Associação Portuguesa de Produtores de Biodiesel (adaptado de [URL 10]).

| Produtor             | Localização                    | Capacidade Instalada (ton) | Início de Produção (ano) |
|----------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Iberol               | Alhambra (Vila Franca de Xira) | 125 000                    | 2006                     |
| Torrejana            | Riachos (Santarém)             | 100 000                    | 2005                     |
| Prio Biocombustíveis | Gafanha da Nazaré (Aveiro)     | 100 000                    | 2007                     |
| Biovegetal           | Alhambra (Vila Franca de Xira) | 125 000                    | 2007                     |
| Sovena               | Almada (Setúbal)               | 95 000                     | 2008                     |

#### Utilização de biocombustíveis nos transportes

A incorporação de biodiesel no gasóleo rodoviário apenas começou a ganhar maior expressão a partir de 2009, após ter sido decretada a incorporação obrigatória de 6% de biodiesel FAME para esse mesmo ano e 10% para 2010. Em 2008 a percentagem máxima de incorporação de biocombustíveis rodoviários não ultrapassou o 1,92% (APREN, 2010).

Segundo a Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas, o gasóleo comercializado em Portugal incorpora 7% de biocombustíveis, em volume, com uma tolerância de menos 0,25%. A comercialização de biodiesel puro (B100) só é permitida, nos termos do n.º 2 do artigo 10.º do Decreto-lei n.º117/2010, de 25 de Outubro, para utilização em frotas de transporte de passageiros ou mercadorias.

Entre 2006 e 2008 a venda de biodiesel em Portugal para o sector rodoviário quase que duplicou, tendo-se registado uma quebra nas vendas entre 2008 e 2009 e a tendência que se verifica actualmente é aumento das vendas (Figura 13).

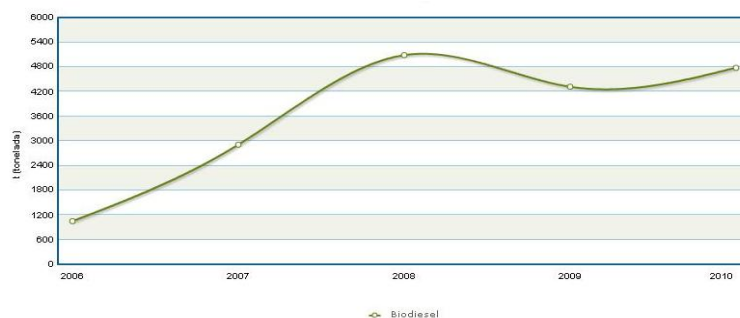


Figura 13- Gráfico da venda de biodiesel para consumo em Portugal (fonte: URL 9)



### **3. CASO DE ESTUDO – “IMPACTES DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NA REGIÃO NORTE”**

#### **3.1. METODOLOGIA**

A metodologia seguida para a elaboração deste estudo compreendeu 4 fases:

1. Pesquisa bibliográfica (capítulos 1 e 2);
  - Importância ambiental e energética do sector dos transportes em Portugal;
  - Estratégias Europeia e Nacional para a mitigação de GEE e para a promoção dos biocombustíveis;
  - Tipos, produção e emissões de biocombustíveis;
2. Caracterização do caso de estudo;
  - Evolução do parque automóvel em Portugal e na Região Norte;
  - Principais poluentes emitidos;
  - Representatividade das emissões de GEE da Região Norte no total de emissões nacionais;
  - Representatividade das emissões de GEE do sector dos transportes no total de emissões da Região Norte;
3. Impacto dos biocombustíveis na Região Norte;
  - Construção de cenários,
  - Estimativa das emissões de cada cenário através do TREM e análise dos respectivos impactes;
  - Estimativa das concentrações dos poluentes atmosféricos com o TAPM;
  - Avaliação do desempenho do TAPM;
  - Análise do impacto de cada cenário na qualidade do ar.
4. Conclusões e considerações finais.

#### **3.2. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO NORTE**

A região norte de Portugal Continental é constituída pelos distritos do Porto, Vila Real, Braga, Bragança, Viana do Castelo e parte dos distritos de Aveiro, Viseu e Guarda, num total de 86 concelhos. Estes concelhos integram a zona Norte Litoral e Norte Interior, estando agrupados em quatro aglomerações <sup>(1)</sup> - Vale do Sousa, Vale do Ave, Braga e Porto Litoral (Figura 14) (Borrego et al, 2009). Segundo dados do INE de 2009, possui uma área de 21 283, 9 km<sup>2</sup> (aproximadamente 24 % da área total de Portugal Continental) e a sua população residente ronda os 3745575 (cerca de 35 % da população residente total de Portugal Continental).

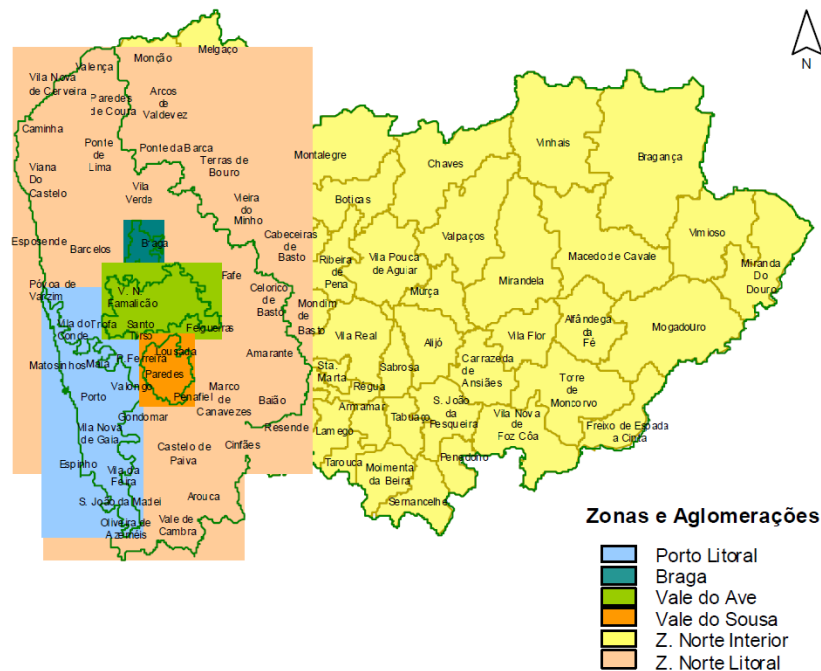


Figura 14- Mapa dos concelhos da Região Norte, enquadrados nas respectivas zonas e aglomerações (fonte: Borrego *et al*, 2009).

Do ponto de vista das emissões de poluentes atmosféricos, a Região Norte representa um contributo importante para o total nacional de emissões. Segundo Borrego et al (2009), a fracção emitida por esta região para cada poluente representa cerca de 30%, sendo o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) os poluentes com maior peso relativo na região. Os principais sectores de emissão da Região Norte são o dos transportes e dos processos de combustão, facto que pode ser explicado pela elevada densidade populacional - 176,0 hab/km<sup>2</sup>, 1,5 vezes superior à de Portugal Continental [URL 10] – e elevada actividade industrial.

O sector dos transportes na Região Norte representa, aproximadamente, 31,8% do total de veículos segurados em Portugal Continental [URL 11].

Para determinar os impactos que a incorporação de biocombustíveis nos combustíveis convencionais terá na qualidade do ar da Região Norte é necessário conhecer a situação actual das emissões nesta região. Neste sentido, foi utilizado como suporte de informação o Inventário de Emissões de Poluentes Atmosféricos da Região Norte de 2009, realizado por Borrego *et al* (2009) que faz uma estimativa sobre as emissões de CO, NO<sub>x</sub>, COVNM, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NH<sub>3</sub> e SO<sub>2</sub> resultantes dos sectores de actividade SNAP (definidos no inventário).

Segundo o Inventário de Emissões de Poluentes Atmosféricos da Região Norte (2009), o sector dos transportes rodoviários é um dos que mais tem contribuído para as emissões de poluentes atmosféricos na área em estudo, sendo o município do Porto o que representa uma maior fracção

<sup>(1)</sup> Aglomeração - zona caracterizada por um número de habitantes superior a 250 000 ou em que a população seja igual ou fique aquém de tal número de habitantes, desde que não inferior a 50 000, sendo a densidade populacional superior a 500 hab./km<sup>2</sup> (DL n.º 276/99, de 23 de Julho).

das emissões. Na Figura 15 estão representados os gráficos da distribuição de emissões dos poluentes pelas várias actividades poluidoras, para a Região Norte e Portugal Continental.

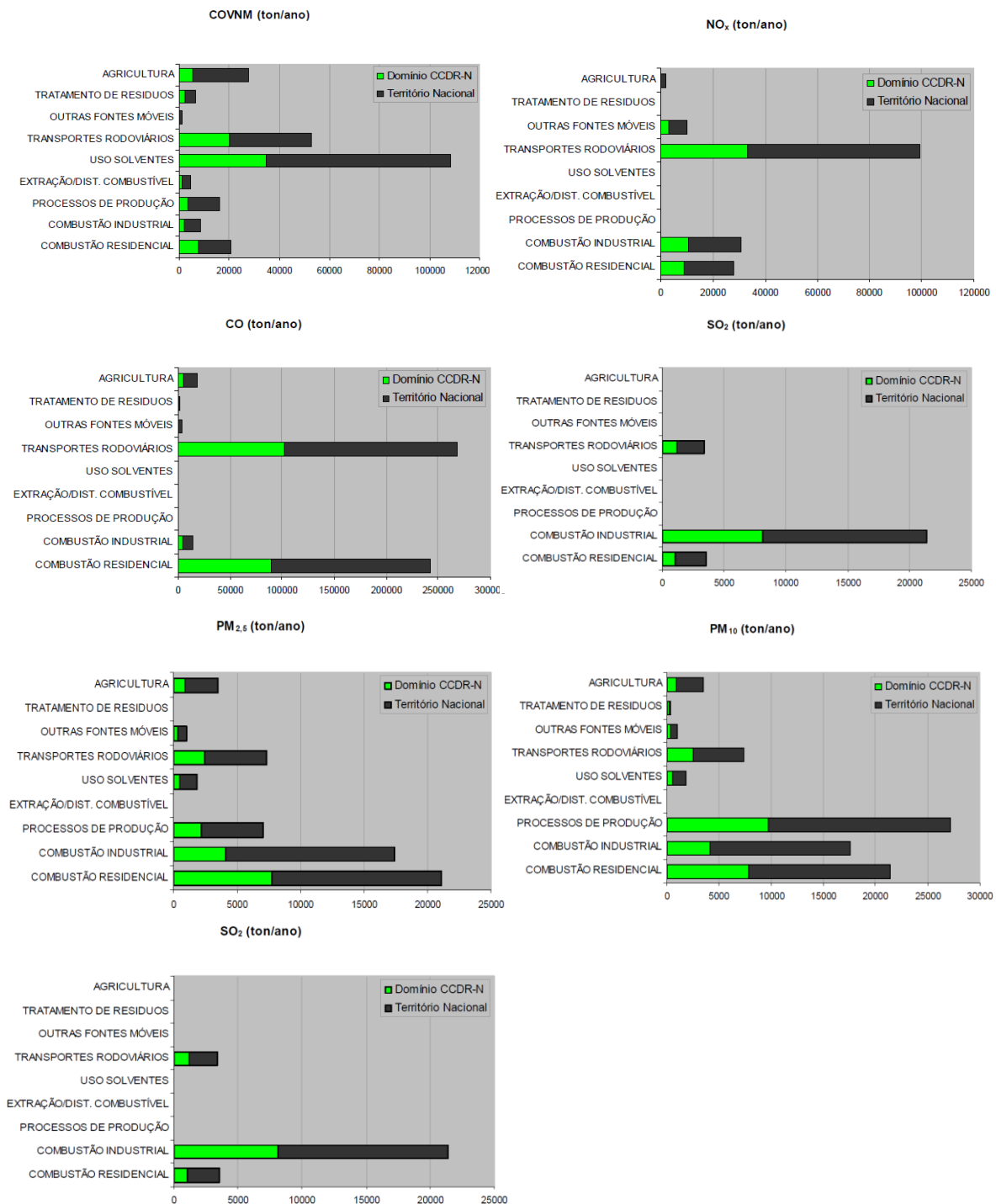


Figura 15 - Gráficos da distribuição de poluentes por sector de actividade para a Região Norte e Portugal Continental (Fonte: Borrego et al , 2009).

Analisando os gráficos da Figura 15 verifica-se o seguinte:



- Os sectores dos transportes e da combustão residencial são as principais fontes de emissão de CO e de NO<sub>x</sub>, representando cerca de 37% e 33,4% das emissões nacionais, respectivamente;
- O sector da combustão industrial é o sector que emite maior quantidade de SO<sub>2</sub>, destacando-se de forma muito clara;
- Os sectores de processos de produção e de combustão residencial foram os que emitiram maiores quantidades de PM<sub>10</sub>, enquanto que para as PM<sub>2,5</sub> foram os sectores da combustão residencial e industrial;
- As principais fontes de emissão de COVNM foram os sectores do uso de solventes e dos transportes;
- Por último, a principal fracção de NH<sub>3</sub> foi emitida pelo sector da agricultura, sendo este o poluente com menor representatividade no total de emissões pela Região Norte (cerca de 23,2%).

Relativamente à distribuição espacial das emissões verificou-se que, de uma forma geral, a cidade do Porto e a sua área urbana envolvente e as zonas urbanas e indústrias de Braga e Guimarães são as áreas onde as emissões totais são mais elevadas (Figura 16). No entanto o NH<sub>3</sub> apresenta um padrão de distribuição diferente, o que reflecte a importância da agricultura nas emissões deste poluente.

A distribuição espacial das emissões totais por sector de actividade, relativamente ao seu poluente potencialmente mais relevante, ajudou a caracterizar melhor a situação actual das emissões na Região Norte. Para cada sector foi, então, considerado o principal poluente emitido (Borrego *et al.*, 2009):

- Combustão residencial e comercial – CO;
- Combustão industrial – NO<sub>x</sub>;
- Processos de produção – PM<sub>10</sub>;
- Extracção e distribuição de combustíveis – COVNM;
- Uso de solventes – COVNM;
- Transportes rodoviários – CO;
- Outras fontes móveis – NO<sub>x</sub>;
- Tratamento e deposição de resíduos – COVNM;
- Agricultura – NH<sub>3</sub>.

Verificou-se que a zona junto à costa, parcialmente coincidente com a área metropolitana do Porto, e a zona urbana e industrial de Braga e Guimarães são as mais afectadas. As emissões de

NH<sub>3</sub> provenientes do sector da agricultura são, como já tinha sido referido anteriormente, mais elevadas na zona interior. A análise feita aos concelhos que integram estas zonas mostrou que a contribuição destas áreas para o total de emissões da Região Norte varia entre 43% e 54% (com excepção do NH<sub>3</sub>), sendo o CO e os COVNM os poluentes com maior peso relativo – 54% e 49%, respectivamente. As emissões PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> são, a seguir aos COVNM, os poluentes com maior representatividade no total de emissões da região - cerca de 48% e 47%, respectivamente - seguidos pelo NOx (43%) e por último o NH<sub>3</sub> (26%). Sendo o CO e o NOx os principais poluentes emitidos pelo sector dos transportes, verificou-se que os concelhos mais críticos em termos de emissões destes poluentes são Vila Nova de Gaia, Matosinhos e Porto, que integram a Aglomeração Porto Litoral. Esta situação pode ser explicada pelo facto de o volume de tráfego ser mais acentuado na região litoral, sendo a zona do grande Porto a que apresenta valores mais elevados de tráfego médio diário (Borrego *et al.*, 2009) (Figura 17).



Figura 16 - Identificação dos concelhos com maiores emissões relativamente aos poluentes em análise (fonte: Borrego *et al.*, 2009).

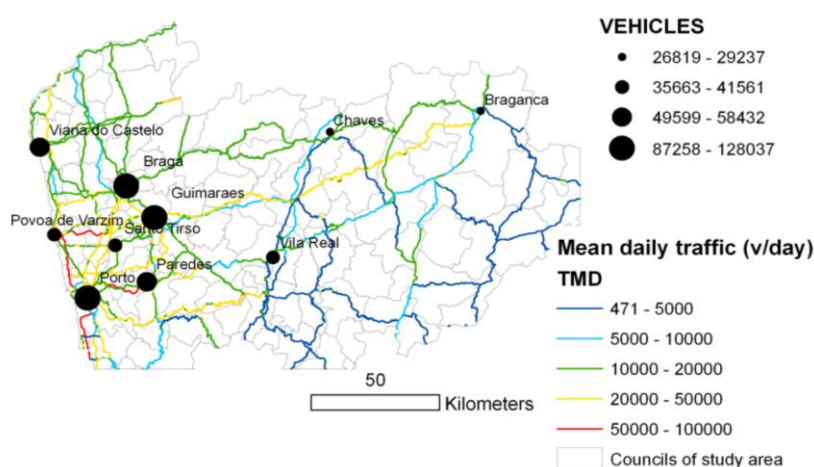
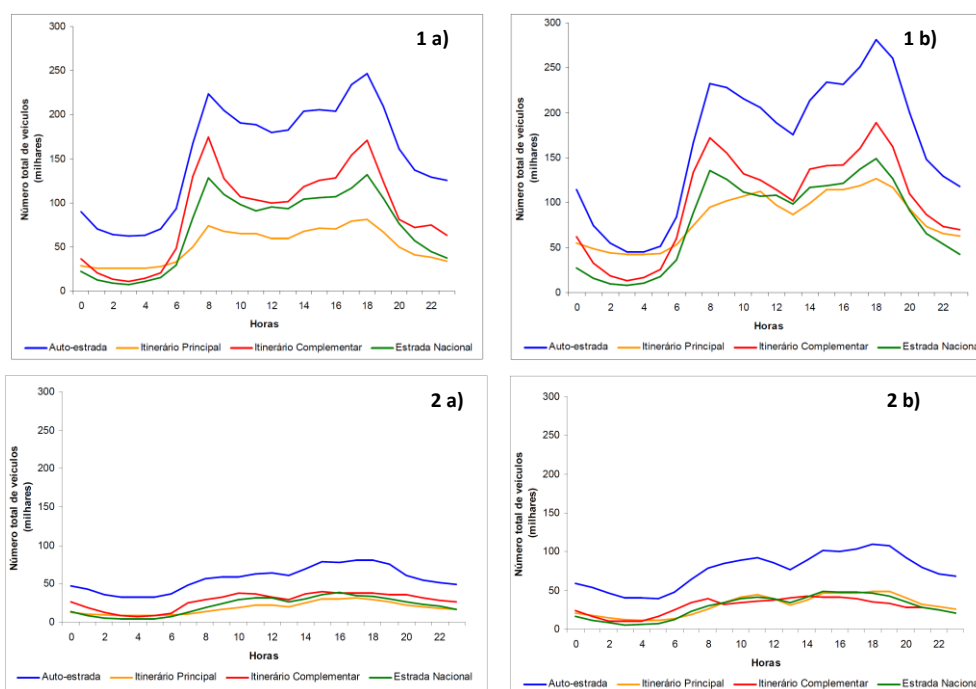


Figura 17 - Distribuição espacial do tráfego rodoviário médio diário pelas principais vias na Região Norte (fonte: Ribeiro *et al.* (2011).

Na análise temporal da variação de emissões pelo sector dos transportes rodoviários verifica-se que as emissões são superiores nos dias úteis. Durante o ano verifica-se que as emissões são maiores no Verão do que no Inverno, onde o CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> são os poluentes que registam maiores variações (Tabela 12). Contudo, nos dias de fim-de-semana não se verifica uma variação das emissões de PM<sub>10</sub>, como acontece nos dias úteis.

Da análise dos perfis médios diários do tráfego rodoviário (Figura 18) verifica-se que as Auto-Estradas são as vias com maior volume de tráfego seguidas das IC e EN. Para todos os períodos observam-se dois picos de maior intensidade de tráfego, de manhã e ao final da tarde. Estes picos são mais acentuados nos dias úteis e, nos períodos de fim-de-semana, ocorrem mais tarde. Relativamente aos períodos de Inverno e Verão, a intensidade do tráfego rodoviário é maior no Verão principalmente nas Auto-Estradas e o comportamento é semelhante em ambas as estações.

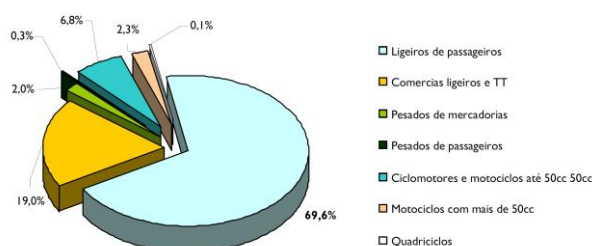


**Figura 18 - Perfis médios registados nas principais vias existentes na Região Norte. Legenda: 1- Dias úteis; 2- Fim-de-semana; a) Inverno; b) Verão (fonte: Borrego *et al*, 2009).**

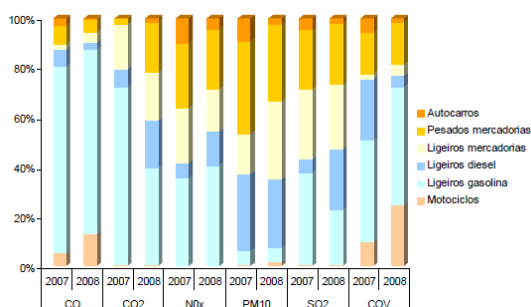
**Tabela 12- Emissões diárias de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> e COV para os diferentes períodos de tempo na Região Norte (adaptado de Borrego et al, 2009).**

|         |               | Poluentes (ton/dia) |                 |                 |                  |                 |     |
|---------|---------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----|
|         |               | CO                  | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | PM <sub>10</sub> | SO <sub>2</sub> | COV |
| Inverno | Dia Útil      | 123                 | 11512           | 64              | 4                | 2               | 20  |
|         | Fim-de-semana | 108                 | 8981            | 48              | 3                | 2               | 16  |
| Verão   | Dia Útil      | 123                 | 12861           | 71              | 5                | 3               | 20  |
|         | Fim-de-semana | 109                 | 10275           | 55              | 3                | 2               | 16  |

Da análise dos gráficos das figuras 19 e 20 no que diz respeito à distribuição de emissões por categoria de veículo, verifica-se que os veículos ligeiros a gasolina são os mais representativos das emissões de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e COV, contribuindo para tal o elevado número de veículos desta categoria na Região Norte (cerca de 70%). A categoria de veículos ligeiros diesel foi a principal responsável pela emissão de PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub>, o que seria de esperar uma vez que a emissão destes poluentes está maioritariamente associada à queima de diesel. Relativamente à emissão de COV verifica-se que as categorias de veículos com maior peso são de ligeiros gasolina e motociclos. Por outro lado verifica-se que a categoria de autocarros é a menos representativa, facto que se deve ao número reduzido destes veículos na região. A categoria de veículos pesados de mercadorias tem, também, um forte contributo para as emissões de COV, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub>.



**Figura 19- Composição do Parque Automóvel para a Região Norte, em 2007 (fonte: Borrego et al, 2009).**



**Figura 20- Distribuição das emissões totais por categoria de veículo, para cada poluente, na Região Norte (fonte: Borrego et al, 2009)**

### **3.3. DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS**

Para estudar os efeitos da incorporação de biocombustíveis nas emissões provenientes da região norte foram construídos três cenários:

- i. Cenário de referência – é o cenário para o ano 2008 que tem como base as “Estatísticas do Sector Automóvel 2008” e não considera qualquer incorporação de biocombustíveis nos combustíveis convencionais, uma vez que a percentagem de biodiesel neste ano era de 3,12% (v/v) [URL 12]
- ii. Cenário para B10 em 2020 – este cenário considera a incorporação de 10% de biodiesel nos combustíveis tradicionais com uma penetração de 100% para o ano 2020. A construção deste cenário relaciona-se com a meta estabelecida pelo Decreto-lei n.º 117/2010.
- iii. Cenário de B20 em 2020 – é um cenário “optimista” que tem como objectivo avaliar quais seriam os impactos na qualidade do ar caso as metas estabelecidas fossem as propostas pela antiga Directiva Europeia 2003/30/CE; ou seja, incorporação de 20% de biodiesel no combustível tradicional.

### **3.4 IMPACTE DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NAS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS**

#### **3.4.1. O MODELO DE CÁLCULO DE EMISSÕES**

Para fazer uma estimativa das emissões dos transportes rodoviários utilizou-se o *Transport Emission Model for Line Sources* (TREM), uma ferramenta de suporte à decisão na gestão da qualidade do ar com elevada resolução espacial e temporal que se baseia em funções de emissão derivadas da metodologia MEET/COST319. Neste modelo as ruas são consideradas como fontes em linha, onde as emissões são estimadas individualmente para cada segmento. As emissões dos poluentes são obtidas pela soma das emissões a quente (ou seja, com o motor em perfeito funcionamento), emissões em arranque a frio e emissões evaporativas (proveniente da evaporação dos combustíveis). No presente trabalho, uma vez que apenas estão a ser analisadas as emissões provenientes do tráfego automóvel nas estradas principais, considera-se que os motores dos veículos que circulam nestas vias funcionam a 100%, pelo que apenas foram calculadas as emissões a quente e evaporativas. Este modelo permite obter dados de emissão que podem ser utilizados como *inputs* em modelos fotoquímicos e de dispersão de poluentes, análise de efeitos na saúde e estudos de impacto e gestão da qualidade do ar (Tchepel, 2003).

A versão do modelo TREM utilizada neste trabalho tem um algoritmo (Figura 21) para calcular a emissão de CO, NOx, COV, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e PM10 provenientes do sector rodoviário (Tchepel, 2003).

A estrutura dos dados de entrada (*inputs*) e de saída (*outputs*) do TREM, para os quais cada troço de estrada tem associado um identificador único (ID), foi desenhada por forma a permitir a sua ligação a Sistemas de Informação Geográficos (SIG), tornando estes dados compatíveis com a aplicação ArcView (Tchepel, 2003) utilizada neste trabalho para transformar as emissões em linha em emissões em área.

Todos os cálculos envolvidos na estimativa das emissões finais para cada poluente são realizados num módulo principal implementado em FORTRAN e envolvem 10 etapas (Tchepel, 2003):

1. Leitura de toda a informação de entrada a partir do ficheiro de texto criado na interface gráfica;
2. O número total dos veículos para cada troço de estrada é desagregado em categorias e classes de veículos;
3. Os factores de emissão a quente (g/km) para cada poluente e para cada classe de veículo são estimados em função da velocidade média no troço;
4. O factor de emissão a quente (g/km), ponderado, para cada troço, é calculado multiplicando o factor de emissão de cada classe de veículos pelo número de veículos dessa classe;
5. A quantidade total (g) de emissões do motor a quente para cada troço é estimada multiplicando o factor de emissão ponderado pelo comprimento do troço;
6. É calculada a distância (km) em que o motor trabalha a frio (*cold distance*), para veículos com ou sem catalisador, em função da temperatura ambiente e da velocidade média;
7. O total de emissões de motor a frio (g) é calculado tendo em conta a temperatura ambiente e a velocidade média;
8. A taxa de emissões a frio (g/km) é calculada para cada um dos poluentes supondo uma distribuição uniforme ao longo da *cold distance*;
9. O total de emissões a frio é calculada usando a taxa de emissões de motor frio e o número de veículos com e sem catalisador;
10. São calculados os totais de emissões para cada poluente e para cada troço de estrada.

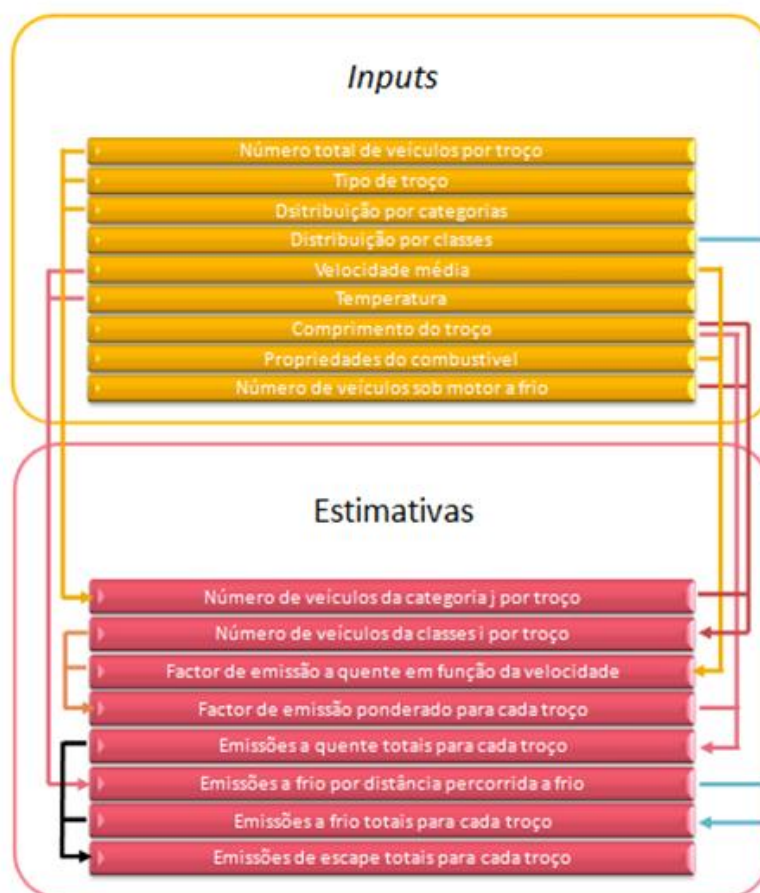


Figura 21- Representação esquemática de cálculo para a quantificação das emissões de escape no TREM(adaptado de Tchepel, 2003).

Os dados de entrada estão principalmente relacionados com as características do tráfego e condições de condução, mas também com outros parâmetros que afectam as emissões, como a temperatura e as propriedades do combustível. O peso do veículo, a potência dos motores e as tecnologias de redução também afectam as emissões, pelo que se torna necessário agrupar os veículos por categorias garantindo, assim, uma estimativa coerente. Esta informação pode ser obtida através de sistemas de contagem de tráfego automáticos ou de modelos de transporte que fornecem a informação relativa aos fluxos de tráfego. Em alternativa, caso não se disponha desta informação, recorre-se a dados estatísticos – abordagem seguida no presente trabalho. Assim, o TREM segue uma estrutura vertical para a classificação de veículos conforme indicado no esquema da Figura 22.

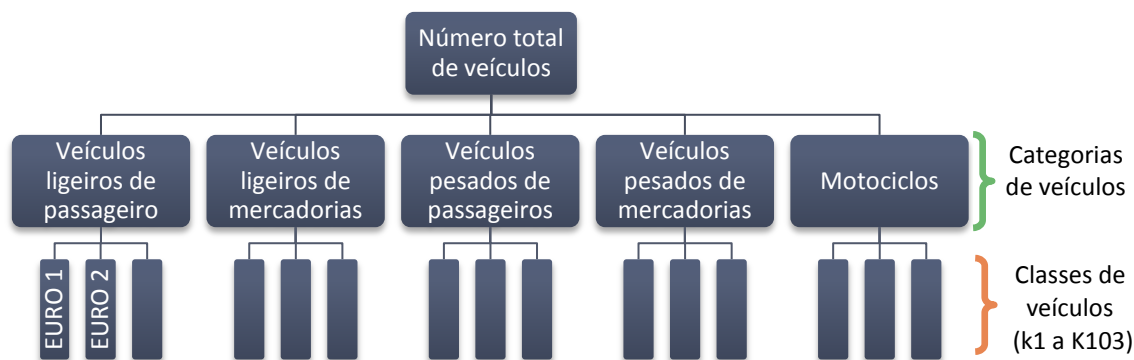


Figura 22- Classificação dos veículos no TREM (adaptado de Tchepel, 2003).

Na estimativa das emissões de poluentes para a região Norte, que seguiu a metodologia utilizada por Borrego *et al* (2009), foi considerada a informação sobre o tráfego rodoviário relativa à rede viária nacional que abrange as Auto-estradas (AE), Itinerários Principais (IP), Itinerários Complementares (IC), Estradas Nacionais (EN), e algumas Estradas Municipais (EM).

Para além da informação sobre o tráfego rodoviário, foi feita a distribuição do parque automóvel por categorias e classes segundo os dados da Associação Automóvel de Portugal (ACAP). Uma vez que não foi possível encontrar a distribuição do parque automóvel por concelho considerou-se que a distribuição na região Norte é igual à distribuição em Portugal. A caracterização do parque automóvel permite perceber qual a contribuição de cada categoria para as emissões do sector rodoviário na Região Norte (Borrego *et al*, 2009). Assim, para o cenário de referência foram considerados os dados da ACAP relativos ao ano 2008 (Tabela 13 e

Tabela 14) e as categorias dos veículos foram determinadas segundo o exemplo:

⇒ Percentagem de veículos ligeiros a gasolina

$$\% \text{ veículos gasolina} = \frac{N.^\circ \text{ veículos a gasolina}}{\text{Total de veículos ligeiros}} \times \frac{N.^\circ \text{ Ligeiros passageiros}}{\text{Total de veículos}} \times 100$$

Este cálculo foi feito para as restantes categorias de veículos ligeiros, tendo-se agrupado os veículos ligeiros a GPL, GNC, Gasolina/GPL, Gasóleo/GPL e Gasolina/GNC numa só categoria e os restantes considerados “Novas Tecnologias”. As categorias de veículos consideradas para o cenário de referência encontram-se na Tabela 15.

Tabela 13 - Composição do Parque Automóvel em 2008 (fonte: ACAP, 2010).

| Parque automóvel nacional |                 |      |      |      |
|---------------------------|-----------------|------|------|------|
| Tipo de veículo           | N.º de veículos |      | %    |      |
|                           | 2008            | 2020 | 2008 | 2020 |



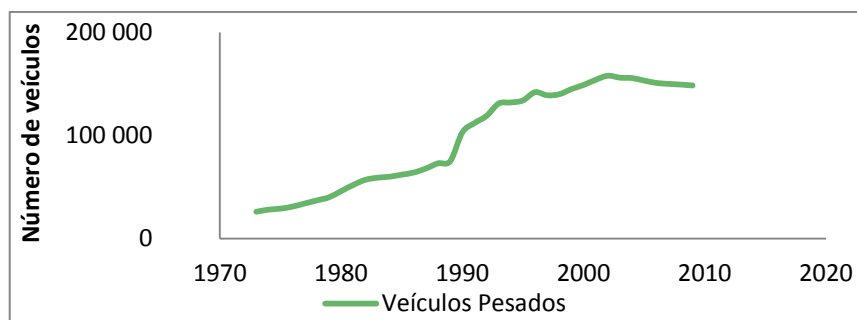
|                      |                |                |            |       |
|----------------------|----------------|----------------|------------|-------|
| Ligeiros passageiros | 4379000        | 5000000        | 69,91      | 72,11 |
| Ligeiros comerciais  | 1198000        | 1251000        | 19,13      | 18,04 |
| Pesados mercadorias  | 135000         | 150000         | 2,15       | 1,95  |
| Pesados passageiros  | 15100          |                | 0,24       | 0,22  |
| Motociclos           | 536645         | 533270         | 8,57       | 7,69  |
| <b>TOTAL</b>         | <b>5886745</b> | <b>6934270</b> | <b>100</b> |       |

Tabela 14 - Composição do Parque Automóvel em 2008 segundo a tipo de combustível usado (fonte: ACAP, 2010).

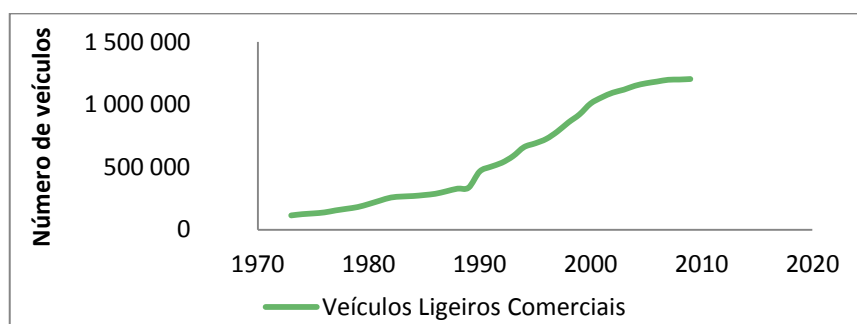
| Tipo de combustível | N.º de veículos  | %          |
|---------------------|------------------|------------|
| Gasolina            | 3 237 469        | 65,03      |
| Gasóleo             | 1 703 623        | 34,22      |
| Gás                 | 1                | 0,00       |
| Eléctrico           | 20               | 0,00       |
| GPL                 | 30               | 0,00       |
| GNC                 | 4                | 0,00       |
| Gasolina/GPL        | 32 968           | 0,66       |
| Gasóleo/GPL         | 32               | 0,00       |
| Gasolina/GNC        | 79               | 0,00       |
| Elec./Gasolina      | 1 920            | 0,04       |
| Hidrogénio          | 1                | 0,00       |
| Gasolina/Híbrido    | 2 059            | 0,04       |
| <b>TOTAL</b>        | <b>4 978 206</b> | <b>100</b> |

Para o ano 2020 esta caracterização foi feita com base na análise da evolução da composição do parque automóvel desde 1973 até 2009. Analisando os gráficos da Figura 23 verifica-se que o número de veículos ligeiros comerciais e de passageiros tem vindo a aumentar, enquanto que o número de veículos pesados registou nos últimos 8 anos uma descida. Neste contexto estipulou-se que, em termos de composição, a percentagem de veículos ligeiros de passageiros e comerciais seria maior em 2020 e a de veículos pesados diminuiria. Relativamente aos motociclos, os únicos dados que constam nas estatísticas referem-se às vendas, pelo que se considerou que esta categoria se manteve idêntica a 2009 (Anexo III).

(a)



(b)



(c)

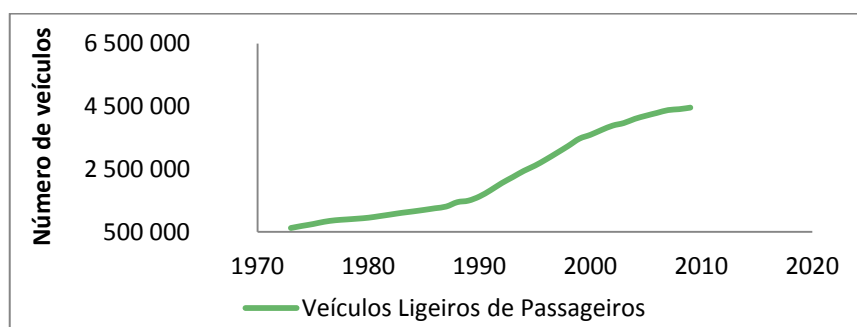


Figura 23 - Gráfico da evolução do número de veículos pesados (a), ligeiros comerciais (b) e ligeiros de passageiros (c) entre 1973 e 2009 (fonte: ACAP - Associação Automóvel de Portugal, 2010).

A percentagem de veículos pesados de passageiros e mercadorias para o ano 2020 assumiu o mesmo valor percentual em 2008; isto é:

$$\% \text{ pesados passageiros} = \frac{\frac{N.^\circ \text{ de pesados (2020)}}{N.^\circ \text{ total de veículos (2020)}} \times \% \text{ pesados passageiros (2008)}}{\% \text{ pesados mercadorias} + \% \text{ pesados passageiros (2008)}}$$

Com a composição do parque automóvel para 2020 segundo o tipo de veículo foram determinadas as novas categorias (Tabela 15).

Tabela 15 - Categorias de veículos para os anos 2008 e 2020 em termos percentuais.

|                                   | 2020  | 2008  |
|-----------------------------------|-------|-------|
| Passageiros Gasolina (%)          | 46,89 | 45,46 |
| Passageiros Diesel (%)            | 24,68 | 23,92 |
| Passageiros GPL (%)               | 0,48  | 0,46  |
| Ligeiros Mercadorias Diesel (%)   | 18,04 | 19,13 |
| Ligeiros Mercadorias Gasolina (%) | 0     | 0     |
| Pesados Mercadorias Diesel (%)    | 1,95  | 2,15  |
| Pesados Passageiros Diesel (%)    | 0     | 0     |
| Novas tecnologias (%)             | 0,058 | 0,056 |
| Motociclos (%)                    | 7,69  | 8,57  |
| Coaches (%)                       | 0,22  | 0,24  |

A distribuição de veículos por classes é baseada no ano do modelo, tipo de motor, norma de emissão e cilindrada. Para se identificar o nível de controlo de emissões, o ano dos veículos é ligado com os anos de introdução das várias normas da legislação europeia às emissões [URL 13]. Na Tabela 17 são apresentadas as datas de implementação das normas de emissão.

A título exemplificativo, para os veículos ligeiros de passageiros a diesel considerou-se que a idade medida dos veículos era de 8,9 anos (Tabela 16) (ACAP, 2009), pelo que os veículos com mais de 30 anos de idade foram excluídos.

Tabela 16 – Idade e número de veículos ligeiros de passageiros (ACAP, 2009).

|                    | Unidades  | %     |
|--------------------|-----------|-------|
| Idade média (anos) | 8.9       | —     |
| Até 1 ano          | 203 320   | 4,6   |
| De 1 a 2 anos      | 211 868   | 4,8   |
| De 2 a 3 anos      | 232 108   | 5,3   |
| De 3 a 4 anos      | 235 075   | 5,4   |
| De 4 a 5 anos      | 234 831   | 5,4   |
| De 5 a 10 anos     | 1562 539  | 35,7  |
| De 10 a 15 anos    | 1042 859  | 23,8  |
| De 15 a 20 anos    | 565 792   | 12,9  |
| Mais de 20 anos    | 90 608    | 2,1   |
| Total              | 4 379 000 | 100,0 |

Classe Convencional [1970-1991]

$$\% \text{ Convencional} = \frac{N^{\circ} \text{ veículos } [> 20 \text{ anos}] + N^{\circ} \text{ de veículos } [15 \text{ a } 20 \text{ anos}]}{\text{Total veículos}} = \frac{656400}{4379000} \times 100 = 14,99\%$$

Classe EURO 1 [1992-1996]

$$\% \text{ EURO 1} = \frac{N^{\circ} \text{ veículos } [10 \text{ a } 15 \text{ anos}]}{\text{Total veículos}} = \frac{1042856}{4379000} \times 100 = 23,82\%$$

Classe EURO 2 [1997-2000]

$$\% \text{ EURO 2} = \frac{N^{\circ} \text{ veículos } [5 \text{ a } 10 \text{ anos}]}{\text{Total veículos}} = \frac{1562539}{4379000} \times 100 = 35,68\%$$

Classe EURO 3 [2001-2005]

$\% \text{ EURO 3}$

$$\begin{aligned} &= \frac{N^{\circ} \text{ veículos } [4 \text{ a } 5 \text{ anos}] + N^{\circ} \text{ veículos } [3 \text{ a } 4 \text{ anos}] + N^{\circ} \text{ veículos } [2 \text{ a } 3 \text{ anos}] + N^{\circ} \text{ veículos } [1 \text{ a } 2 \text{ anos}]}{\text{Total veículos}} \\ &= \frac{913882}{4379000} \times 100 = 20,87\% \end{aligned}$$

Classe EURO 4 [2006-2010]

$$\% \text{ EURO 4} = \frac{N^{\circ} \text{ veículos } [\text{até } 1 \text{ ano}]}{\text{Total veículos}} = \frac{203320}{4379000} \times 100 = 4,64\%$$

Os restantes cálculos efectuados para a distribuição das classes pode ser consultado no ANEXO II.

Tabela 17 - Classificação dos veículos de acordo com as datas de implementação das normas de emissão.

|                                     | 1970         | 1971 | 1972         | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978      | 1979 | 1980 | 1981      | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986      | 1987 | 1988 | 1989 |
|-------------------------------------|--------------|------|--------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| Passageiros de Gasolina             | Pre ECE      |      | ECE 15-00/01 |      |      |      |      |      | ECE 15-02 |      |      | ECE 15-03 |      |      |      |      | ECE 15-04 |      |      |      |
| Passageiros a Diesel e GPL          | Convencional |      |              |      |      |      |      |      |           |      |      |           |      |      |      |      |           |      |      |      |
| Ligeiros de mercadorias             | Convencional |      |              |      |      |      |      |      |           |      |      |           |      |      |      |      |           |      |      |      |
| Pesados de mercadorias e autocarros | Convencional |      |              |      |      |      |      |      |           |      |      |           |      |      |      |      |           |      |      |      |
| Motociclos                          | Convencional |      |              |      |      |      |      |      |           |      |      |           |      |      |      |      |           |      |      |      |

|                                     | 1990 | 1991 | 1992   | 1993   | 1994 | 1995 | 1996   | 1997   | 1998 | 1999 | 2000   | 2001   | 2002 | 2003 | 2004   | 2005   | 2006 | 2007   | 2008 | 2009 | 2010 |
|-------------------------------------|------|------|--------|--------|------|------|--------|--------|------|------|--------|--------|------|------|--------|--------|------|--------|------|------|------|
| Passageiros de Gasolina             |      |      | EURO 1 |        |      |      | EURO 2 |        |      |      | EURO 3 |        |      |      | EURO 4 |        |      |        |      |      |      |
| Passageiros a Diesel e GPL          |      |      | EURO 1 |        |      |      | EURO 2 |        |      |      | EURO 3 |        |      |      | EURO 4 |        |      |        |      |      |      |
| Ligeiros de mercadorias             |      |      |        | EURO 2 |      |      |        | EURO 3 |      |      |        | EURO 4 |      |      |        | EURO 5 |      |        |      |      |      |
| Pesados de mercadorias e autocarros |      |      | EURO 2 |        |      |      | EURO 2 |        |      |      | EURO 3 |        |      |      | EURO 4 |        |      | EURO 5 |      |      |      |
| Motociclos                          |      |      |        |        |      |      |        |        |      |      | Fase 1 |        |      |      |        |        |      |        |      |      |      |

Os parâmetros dos combustíveis e as temperaturas atmosféricas mínimas, médias e máximas também foram definidos. Com base nos boletins meteorológicos de 2008, e considerando os meses de Janeiro e Julho como representativos do Verão e Inverno, respectivamente, arbitraram-se as seguintes temperaturas (Tabela 18).

**Tabela 18 - Temperaturas mínimas, médias e máximas consideradas para o Inverno e Verão.**

|                | Mínima (°C) | Média (°C) | Máxima (°C) |
|----------------|-------------|------------|-------------|
| <b>Verão</b>   | 12          | 18         | 26          |
| <b>Inverno</b> | 4           | 6          | 12          |

A definição dos parâmetros de combustível teve como referência o Decreto-lei n.º 89/2008, de 30 de Maio, relativo às especificações técnicas dos combustíveis (Tabela 19), e a ficha técnica de combustíveis com incorporação de 6% a 20% de biodiesel (Tabela 20).

**Tabela 19 - Parâmetros dos combustíveis (fonte: DL n.º 89/2008, de 30 de Maio),**

|                 | Teor de enxofre (ppm) | Teor de chumbo (ppm) | Volatilidade |
|-----------------|-----------------------|----------------------|--------------|
| <b>Gasolina</b> | 50                    | 0                    | 0,1          |
| <b>Gasóleo</b>  | 50                    | 0,005                | 0,2          |

**Tabela 20 - Parâmetros dos combustíveis com 5 a 20% de incorporação de biodiesel (fonte: National Biodiesel Board – ASTM 7467-10)**

|                 | Teor de enxofre (ppm) | Teor de chumbo (ppm) | Volatilidade |
|-----------------|-----------------------|----------------------|--------------|
| <b>Gasolina</b> | 50                    | 0                    | 0,1          |
| <b>Gasóleo</b>  | 15                    | 0,005                | 0,2          |

Com o TREM foram estimadas as emissões do sector rodoviário para os dias úteis e fins-de-semana, de Verão e Inverno, calcularam-se as emissões para os anos 2008 e 2020 de cada troço de estrada como mostra a equação 2, sendo posteriormente distribuídas por concelho no software ArcGIS.

$$Emi_{Anuais} = \underbrace{Emi_{Inverno}(TMD\_DU)}_{130 \text{ dias}} + \underbrace{Emi_{Inverno}(TMD\_FDS)}_{52 \text{ dias}} + \underbrace{Emi_{Verão}(TMD\_DU)}_{131 \text{ dias}} + \underbrace{Emi_{Verão}(TMD\_FDS)}_{52 \text{ dias}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Como já foi referido anteriormente, este estudo seguiu a metodologia do Inventário de Emissões da Região Norte (Borrego *et al*, 2009) e, uma vez que se utilizaram dados de entrada no TREM diferentes (categorias, classes, temperatura, propriedades do combustível), houve necessidade de criar um factor de correcção para aplicar às emissões estimadas a fim de se obter os mesmo valores do inventário. Este factor foi calculado determinando para cada concelho e poluente a razão entre as emissões do Inventário e as emissões estimadas pelo TREM. Para além disso foram também somadas as emissões do Porto do de Leixões (concelho de Matosinhos), do Aeroporto Sá Carneiro (concelho da Maia) e ainda se procedeu ao cálculo das emissões do concelho de Santa Marta de Penaguião, que não constava no inventário. Este cálculo foi feito com base no consumo de combustível registado pela DGEG, o poder calorífico da gasolina e do diesel e nos factores de emissão determinados no inventário.

Para os cenários de 2020 foram aplicados ainda os factores de emissão resultantes da incorporação de 10% e 20% de biodiesel (Tabela 5). Exemplo:

Emissões estimadas para o concelho de Alfândega da Fé em 2020:

- CO = 38,55 ton/ano
- CO<sub>2</sub> = 3472,71 ton/ano
- NO<sub>x</sub> = 18,2 ton/ano
- PM<sub>10</sub> = 1,19 ton/ano
- SO<sub>2</sub> = 0,68 ton/ano
- COV = 5,37 ton/ano

Segundo os factores de emissão e as percentagens de cada categoria que compõe o parque automóvel, a taxa de variação nas emissões será dada pela expressão:

$$\Delta Emissões (\%) = \%VLP \times FE (VLP) + \%VLC \times FE (VLC) + \%VPM \times FE (VPM) + \%Coaches \times FE (VPM)$$

Onde: VLP = veículos ligeiros de passageiros; FE = factor de emissão; VLC = veículos ligeiros comerciais; VPM = veículos pesados de mercadorias.

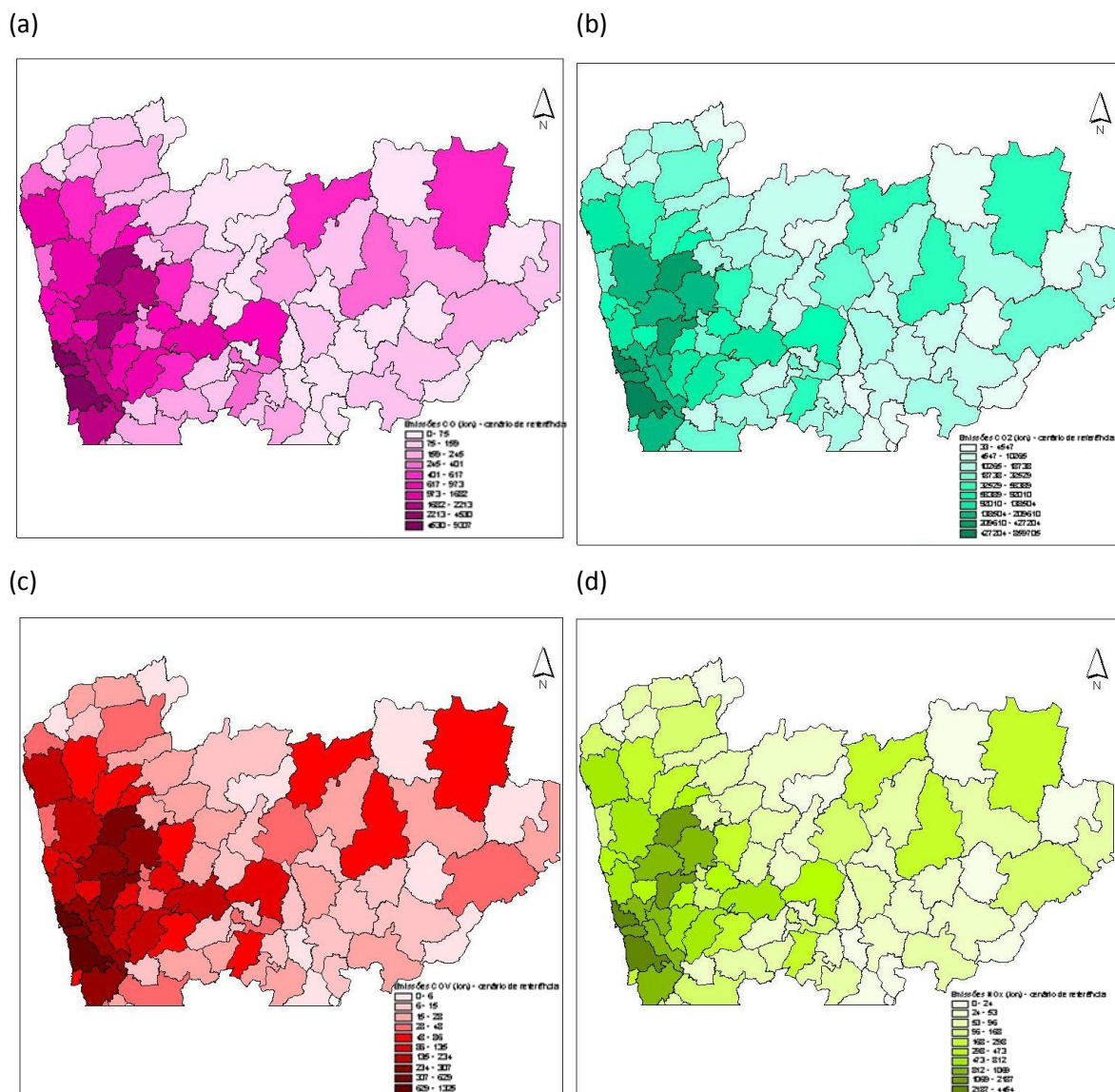
$$\begin{aligned} \Delta Emissões de CO (\%) &= 0,2468 \times 0 + 0,1804 \times 0 + 0,0196 \times (-0,05) + 0,0022 \times (-0,05) \\ &= -0,00108 = -0,108 \% \end{aligned}$$

Sabendo as variações nas emissões de cada poluente resultantes da incorporação de biodiesel determinaram-se as emissões finais.

### 3.4.2. ANÁLISE DE RESULTADOS

Da análise dos mapas da Figura 24, verifica-se que é para os distritos de Porto e Braga que as emissões provenientes do sector dos transportes são maiores, o que seria de esperar tendo em conta que é para estes distritos que se regista maior fluxo de tráfego médio diário (Figura 17).

Da tabela do Anexo IV verifica-se que o CO<sub>2</sub> é o poluente cujas emissões são maiores, seguido do CO, NOx, COV, PM e SO<sub>2</sub>, o que já era esperado tendo em conta os gráficos da Figura 15.





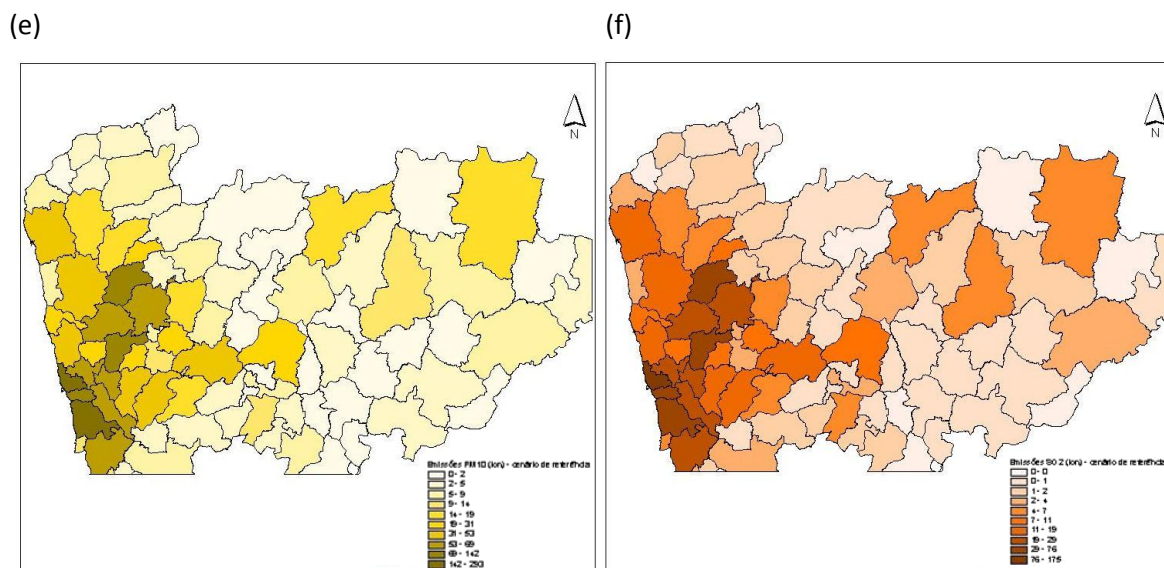


Figura 24 – Distribuição espacial das emissões de (a) CO, (b) CO<sub>2</sub>, (c) COV, (d) NO<sub>x</sub>, (e) PM<sub>10</sub> e (f) SO<sub>2</sub> obtidas para a região Norte no cenário de referência.

De uma forma geral, as emissões estimadas para 2020 são menores do que as estimadas para 2008, mesmo sem a incorporação de biodiesel. Esta tendência pode ser explicada pela tecnologia dos veículos ser mais avançada, no sentido da diminuição de emissões de escape. Como foi referido anteriormente, à medida que a tecnologia dos veículos evolui as emissões da generalidade de poluentes diminui. Neste sentido, a percentagem de veículos da classe EURO 5 (a mais recente considerada pelo TREM) aumentou, enquanto que classes anteriores a 1990 não foram consideradas. Esta alteração na composição do parque automóvel significa que foram retirados os veículos cujas emissões eram maiores e adicionadas novas classes cujas emissões são menores, resultando numa diminuição das mesmas.

O gráfico da Figura 25 representa a variação nas emissões para os dois cenários de 2020 relativamente ao cenário de referência.

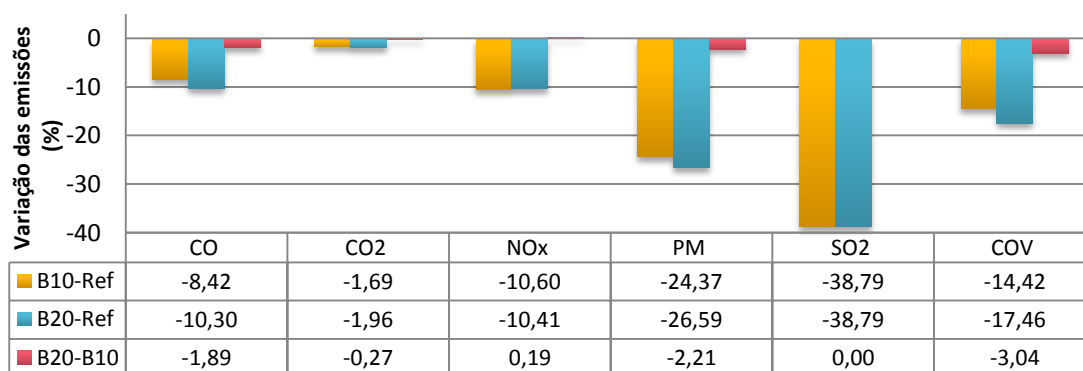


Figura 25 - Variação nas emissões anuais dos cenários de 2020 (B10 e B20) relativamente ao cenário de referência,

De acordo com o gráfico anterior verifica-se que para todos os poluentes a incorporação de biodiesel traduz-se numa diminuição das emissões, principalmente para o SO<sub>2</sub>, PM e COVs. Estes resultados vão ao encontro do esperado, uma vez que segundo o relatório EMEP/EEA (2009) COVs e PM são os poluentes para os quais os factores de emissão são maiores. De acordo com o gráfico da Figura 25, o aumento da percentagem de incorporação de biodiesel é mais notório para os COVs, cuja diferença entre os dois cenários de 2020 é cerca de 3%, o que também se verifica no relatório da EMEP/EEA (2009).

A estimativa das emissões de SO<sub>2</sub> foi feita apenas com base no teor de enxofre de combustíveis com incorporação de biodiesel (Tabela 20), que é igual para percentagens de 10% e 20%, pelo que as variação entre estes dois cenários é zero.

Como já foi referido anteriormente, vários estudos indicam que as emissões de NO<sub>x</sub> aumentam com a incorporação de biodiesel, o que não se verificou neste estudo quando se comparam as emissões do cenário de referência com o cenário de 2020 B10. Contudo, comparando os dois cenários de 2020 verifica-se que há um aumento das emissões deste poluente quando se aumenta a percentagem de incorporação de biodiesel. Esta situação pode ser explicada alteração feita no parque automóvel, relativamente ao cenário de referência, especialmente no que diz respeito à diminuição do número de veículos pesados e no aumento de veículos pertencentes a classes mais recentes cujas tecnologias são mais limpas (Figura 23).

As reduções nas emissões que se observam para ambos os cenários de 2020 resultam não só da redução dos factores de emissão para o biodiesel, mas também das alterações no parque automóvel (com excepção do NO<sub>x</sub>, como já foi referido).

### **3.5. IMPACTE DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NA QUALIDADE DO AR**

A avaliação do impacto da utilização de biocombustíveis na qualidade do ar na região Norte compreende a previsão das concentrações de poluentes atmosféricos a partir do modelo TAPM para os três cenários, usando como dados de entrada as emissões estimadas pelo modelo TREM para os anos 2008 e 2020 – já apresentado no subcapítulo 3.3.

#### **3.5.1. O MODELO TAPM**

*The Air Pollution Model* (TAPM) desenvolvido pela *Commonwealth Scientific and Industrial Research University Organization* (CSIRC), na Austrália, é um modelo Euleriano 3-D usado para a simulação do transporte e dispersão de poluentes atmosféricos à escala local e regional (Fontes, 2010). Trata-se de um modelo de prognóstico que utiliza todas as equações que descrevem o

comportamento da atmosfera e a dispersão de poluentes (Hurley *et al.*, 2005). É composto por um módulo cálculo da dispersão e concentração da poluição atmosférica e um módulo meteorológico (Figura 26), eliminando a necessidade de recorrer a bases de dados meteorológicas. Assim, o modelo simula os fenómenos importantes para a poluição atmosférica à escala local (como brisas marítimas, escoamentos induzidos pelo terreno, entre outros) num contexto de maior escala meteorológica fornecidos pela análise sinóptica (Hurley *et al.*, 2005).

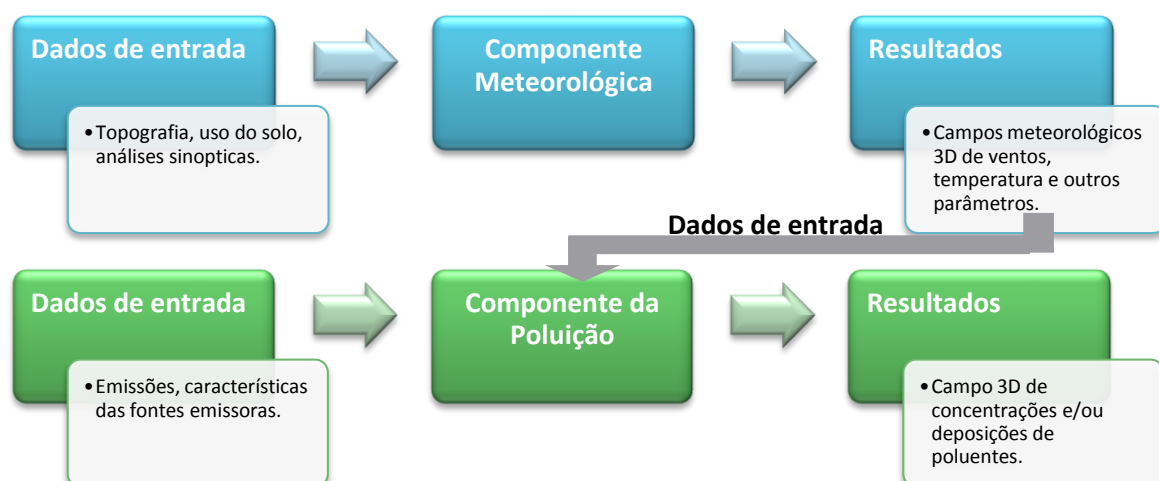


Figura 26 – Representação esquemática do funcionamento do modelo TAPM (adaptado de Fontes, 2010).

A componente de poluição atmosférica é constituída por 4 sub-módulos - descritos na Tabela 21 – e considera fontes antropogénicas e biogénicas pontuais, em área ou em grelha, “tracers”, partículas e poluentes reactivos (NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e SO<sub>2</sub>). Esta componente tem, ainda, em consideração a deposição seca e húmida e tem capacidade de simular os efeitos dos edifícios próximos (Hurley *et al.*, 2005).

Tabela 21 - Módulos e respectivas funções da componente de transporte e dispersão do TAPM (adaptado de Hurley *et al.*, 2005).

| Módulo                                  | Função   |
|---|--|
| <i>Eulerian grid module</i> (EGM)       | Resolução de equações de prognóstico de concentração, correlação da concentração, correlação da concentração e da temperatura potencial virtual; |
| <i>Lagrangian Particle Module</i> (LPM) | Cálculos relativos à dispersão junto à fonte   |
| <i>Plume rise module</i> (PRM)          | Cálculos relativos à dispersão da pluma  |
| <i>Building wake module</i> (BWM)       | Cálculos relativos à dispersão junto a edifícios   |

Os dados de entrada utilizados na componente de poluição atmosférica foram os do Guia do Inventário de emissões de poluentes atmosféricos para o ano 2005 elaborado pela Agência Europeia do Ambiente, para todos os sectores de actividades com excepção do sector dos transportes rodoviário, cujas emissões foram determinadas no TREM.

Foram realizadas simulações com o TAPM para os meses de Janeiro e Julho de cada um dos cenários a fim de analisar a variação dos impactes decorrentes da incorporação de biodiesel no inverno e no verão. Para alcançar resultados consistentes os resultados meteorológicos de 2008 foram também utilizados na simulação dos cenários em 2020. Neste sentido, os factores externos que têm influência na qualidade do ar foram minimizados (Ribeiro *et al*, 2011).

A Figura 27 sintetiza a metodologia utilizada nas simulações com o TAPM.

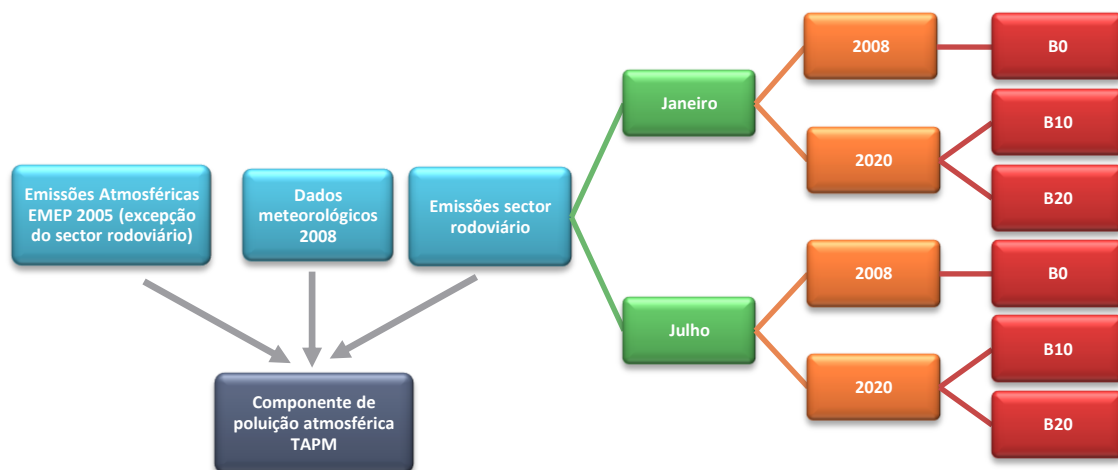


Figura 27 – Representação esquemática da metodologia seguida para as simulações com o modelo TAPM Adaptado de Ribeiro *et al*, 2011).

### 3.5.2 AVALIAÇÃO DO MODELO TAPM

A validação dos dados de qualidade do ar estimados pelo modelo TAPM para o cenário de referência é feita por comparação com os dados das estações meteorológicas de fundo, extraídos da plataforma QualAr [URL 14]. As estações de fundo são estações que não sofrem influência directa de fontes emissoras (e representam a poluição a que qualquer cidadão está sujeito, mesmo estando distante de qualquer fonte emissora) e são caracterizadas pelas baixas concentrações de poluentes e sem oscilações diárias significativas.

A selecção de estações de monitorização de fundo para avaliação do desempenho do TAPM baseou-se na Directiva 2008/50/CE relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa. Este documento estabelece uma taxa de eficiência mínima de recolha de dados de 90%. No entanto, como não considera a perda de dados decorrente de acções de manutenção e

calibração, foi considerada uma taxa mínima de recolha de dados de 85% (Lameiras, 2009). As estações de monitorização com eficiência superior à mencionada estão representadas na Figura 28 e na

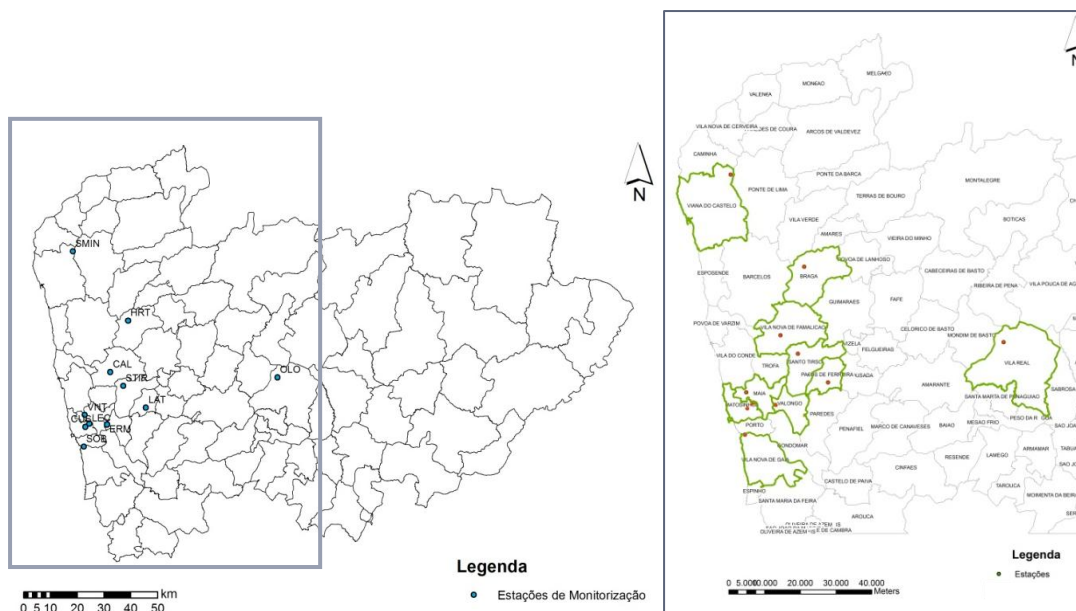
Tabela 22.

| Estação               | Localização    | Abreviatura | Ambiente  | Poluentes   |
|-----------------------|----------------|-------------|-----------|---|
| Senhora do Minho      | Norte Litoral  | SMIN        | Rural     | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,  |
| Lamas de Olo          | Norte Interior | OLO         | Rural     | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>PM2,5, SO <sub>2</sub>                              |
| Horto                 | Braga          | HRT         | Suburbana | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>SO <sub>2</sub>                                     |
| Santo Tirso           | Vale do Ave    | STIR        | Urbana    | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>SO <sub>2</sub> , CO                                |
| Calendário            | Vale do Ave    | CAL         | Suburbana | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>SO <sub>2</sub>                                     |
| Centro de Lacticínios | Vale do Sousa  | LAT         | Urbana    | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>SO <sub>2</sub>                                     |
| Vila Nova da Telha    | Porto Litoral  | VNT         | Suburbana | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>SO <sub>2</sub> , CO                                |
| Leça do Balio         |                | LEC         | Suburbana | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>SO <sub>2</sub> , CO                                |
| Ermesinde             |                | ERM         | Urbana    | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>SO <sub>2</sub>                                     |
| Custóias              |                | CUS         | Suburbana | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>SO <sub>2</sub> , CO, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> |

| Estação          | Localização    | Abreviatura | Ambiente  | Poluentes  |
|------------------|----------------|-------------|-----------|--|
| Senhora do Minho | Norte Litoral  | SMIN        | Rural     | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,                           |
| Lamas de Olo     | Norte Interior | OLO         | Rural     | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>PM2,5, SO <sub>2</sub> |
| Horto            | Braga          | HRT         | Suburbana | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>SO <sub>2</sub>        |
| Santo Tirso      | Vale do Ave    | STIR        | Urbana    | NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10,<br>SO <sub>2</sub> , CO   |

|                       |               |     |           |   |
|-----------------------|---------------|-----|-----------|---|
| Calendário            | Vale do Ave   | CAL | Suburbana | NO, NO <sub>2</sub> , NOx, O <sub>3</sub> , PM10, SO <sub>2</sub>                                     |
| Centro de Lacticínios | Vale do Sousa | LAT | Urbana    | NO, NO <sub>2</sub> , NOx, O <sub>3</sub> , PM10, SO <sub>2</sub>                                     |
| Vila Nova da Telha    | Porto Litoral | VNT | Suburbana | NO, NO <sub>2</sub> , NOx, O <sub>3</sub> , PM10, SO <sub>2</sub> , CO                                |
| Leça do Balio         |               | LEC | Suburbana | NO, NO <sub>2</sub> , NOx, O <sub>3</sub> , PM10, SO <sub>2</sub> , CO                                |
| Ermesinde             |               | ERM | Urbana    | NO, NO <sub>2</sub> , NOx, O <sub>3</sub> , PM10, SO <sub>2</sub>                                     |
| Custóias              |               | CUS | Suburbana | NO, NO <sub>2</sub> , NOx, O <sub>3</sub> , PM10, SO <sub>2</sub> , CO, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> |

**Tabela 22 - Estações de monitorização da qualidade do ar da região Norte com uma eficiência superior a 85%.**



**Figura 28 - Localização das estações de monitorização consideradas para a avaliação do desempenho do modelo TAPM.**

A análise estatística é, segundo Borrego *et al* (2008), um ponto fundamental na garantia e controlo do desempenho do sistema de previsão da qualidade do ar, fornecendo informações sobre a precisão do modelo, permitindo identificar as razões das incertezas e potenciar a sua redução. Hanna e Chang (1993) sugerem um conjunto de parâmetros estatísticos para avaliação de desempenho deste tipo de modelos, dos quais foram escolhidos os seguintes:

- Coeficiente de correlação (r) – traduz a relação linear entre as concentrações modeladas e as observadas (Equação 9); quando o valor de r é próximo de 1, há uma boa correlação, quando r é próximo de zero, a correlação é má;

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}} \quad \text{(Equação 9)}$$

- Erro sistemático médio (BIAS) – indica a tendência dos erros cometidos (Equação 10); quando é negativo indica que o modelo tem tendência para subestimar as concentrações e quando é positivo demonstra a tendência para sobrestimar as concentrações;

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)}{N} \quad \text{(Equação 10)}$$

- Erro quadrático médio (EQM) – dá uma indicação sobre a magnitude dos erros cometidos pelo modelo (Equação 11); o valor ideal tanto para o EQM como para o BIAS é zero,

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |M_i - O_i|^2}{N}} \quad \text{(Equação 11)}$$

De forma a obter informações mais concisas sobre o desempenho do modelo foi também determinado o Índice de Concordância (IOA, do inglês *Index of Agreement*), usado também por Hurley *et al.* (2005).

- Índice de Concordância (IOA) – este parâmetro avalia as variações das estimativas em comparação com as observadas (Equação 12). Quando o valor de IOA é superior a 0,5 considera-se que o comportamento do modelo é bom (Hurley *et al.*, 2003).

$$IOA = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|M_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad \text{(Equação 12)}$$

Onde N é o número total de amostras,  $O_i$  é o valor observado no instante  $i$  e  $M_i$  a respectiva concentração simulada pelo modelo.

a) PM

Na Figura 29 são apresentados os resultados dos parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o desempenho do modelo utilizado na simulação das concentrações médias horárias de PM10 modeladas e observadas para os meses de Janeiro e Julho de 2008.

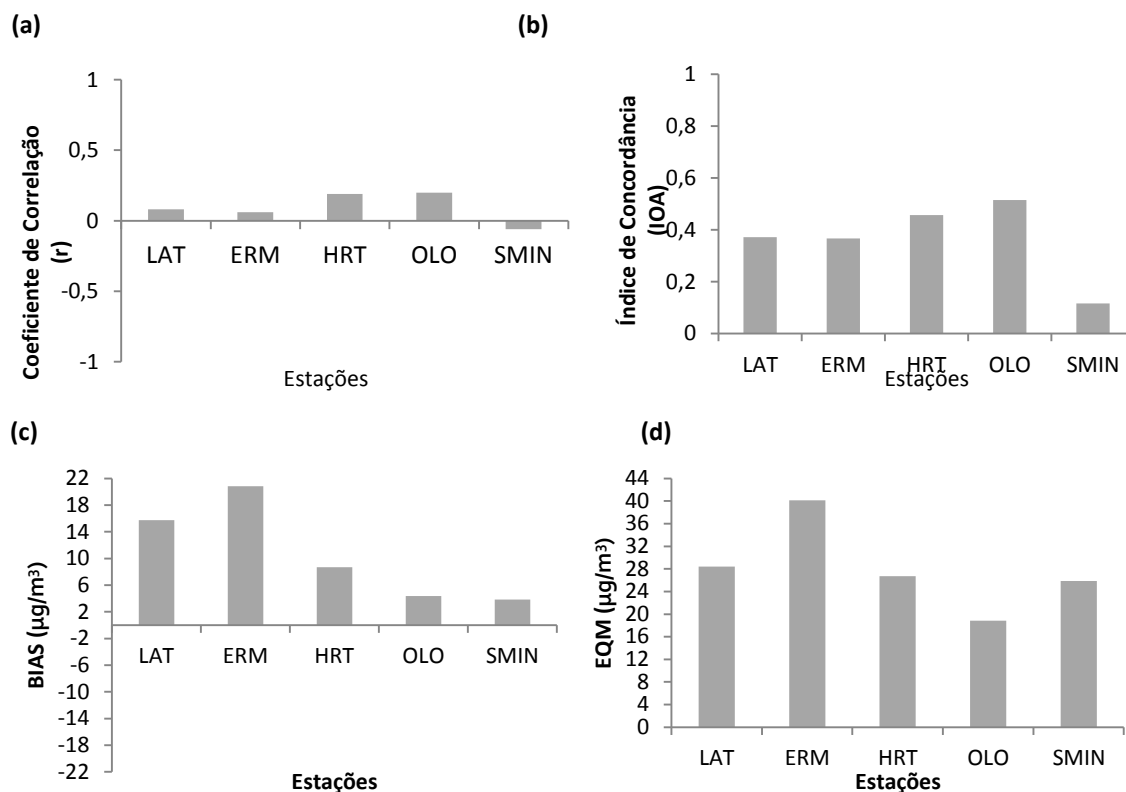


Figura 29 – Gráficos dos parâmetros estatísticos utilizados na avaliação de desempenho TAPM para PM10: (a) Coeficiente de Correlação (r); (b) Erro Sistemático Médio (BIAS); (c) Erro Quadrático Médio (EQM), (d) Índice de Concordância (IOA),

O valor do coeficiente de correlação é bastante baixo chegando mesmo a valores negativos para a estação de Senhora do Minho, indicando que não existe uma boa correlação entre os valores modelados e os observados. Os valores do parâmetro BIAS são positivos para todas as estações, o que significa que o modelo está a sobrestimar as concentrações de PM10.

Analisando os gráficos das séries temporais (Anexo V) para PM10 e tendo em conta os valores do EQM, verifica-se que a amplitude deste erro é significativa. As estações de Lamas de Olo, Senhora do Minho e Horte são as que apresentam menores erros.

O índice de concordância é inferior a 0,5, com excepção da estação de Lamas de Olo, indicando uma má proximidade entre as concentrações de PM10 observadas e simuladas.

#### b) NO<sub>2</sub>

Os gráficos da Figura 30 traduzem os resultados dos parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o desempenho do modelo utilizado na simulação das concentrações médias horárias de NO<sub>2</sub> modeladas e observadas para os meses de Janeiro e Julho de 2008.



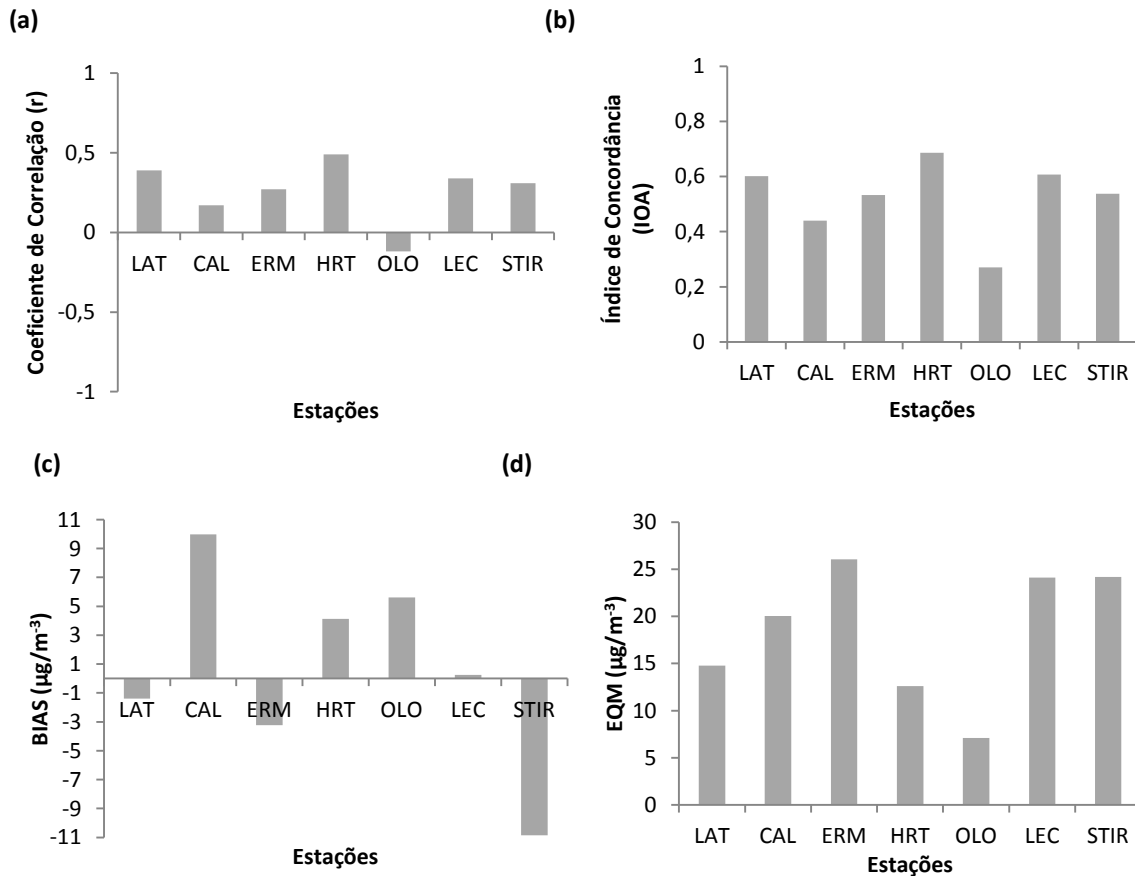


Figura 30 - Gráficos dos parâmetros estatísticos utilizados na avaliação de desempenho do modelo TAPM para o NO<sub>2</sub>: a) Coeficiente de Correlação (r); b) Erro Sistemático Médio (BIAS); c) Erro Quadrático Médio (EQM); (d) Índice de Concordância (IOA).

Os valores do coeficiente de correlação estão abaixo do que seria desejado especialmente para a estação de Lamas de Olo, cujo valor é negativo. Pela análise do BIAS verifica-se que o modelo tem tendência para sobrestimar as concentrações de NO<sub>2</sub>, uma vez que para a maioria das estações este parâmetro é positivo. A estação do Centro de Lacticínios é a que apresenta menores erros em termos sistemáticos e a de Lamas de Olo a que apresenta menores erros em termos absolutos. Verifica-se, no entanto, que para Lamas de Olo o valor do índice de concordância é inferior a 0,5 e, como já foi mencionado, o valor de r é negativo, o que indica uma má correlação entre os dados nesta estação.

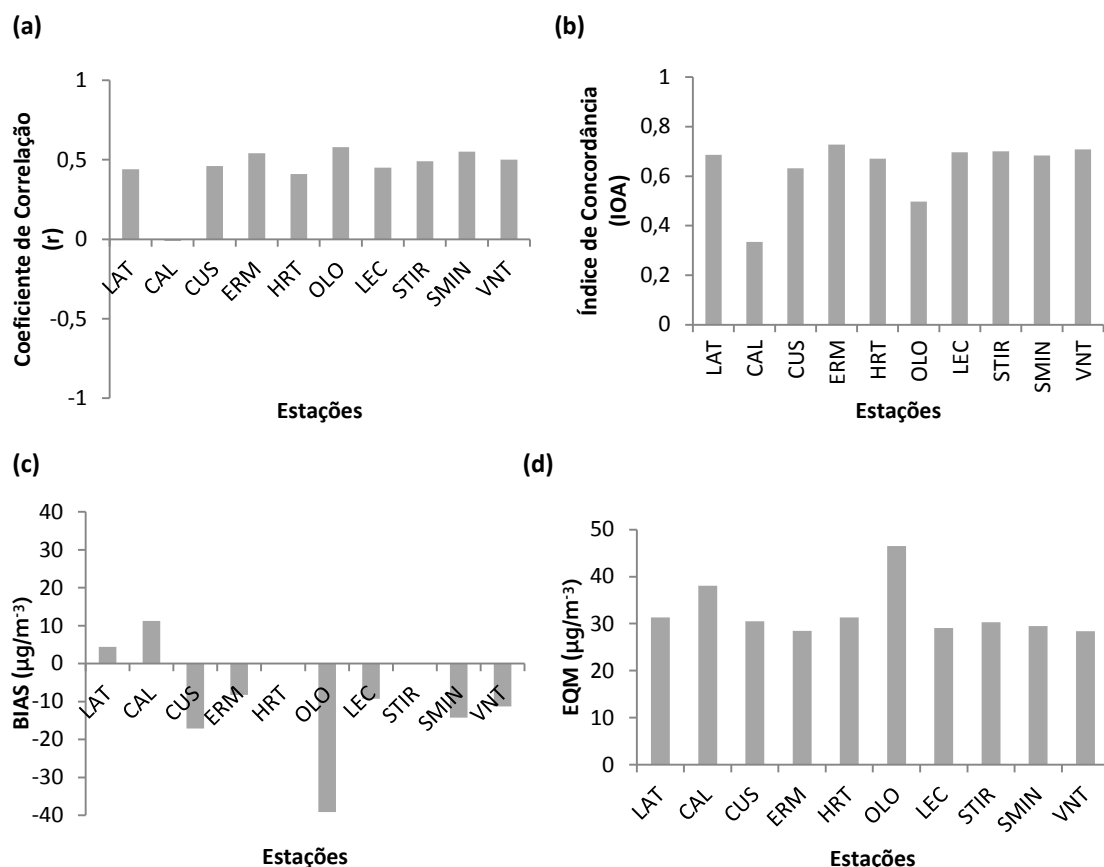
O índice de concordância para o NO<sub>2</sub> indica que a proximidade das concentrações modeladas com as observadas é boa, com excepção das estações de Lamas de Olo (referido anteriormente) e de Calendário, para as quais este parâmetro estatístico é inferior a 0,5.

#### c) O<sub>3</sub>

O O<sub>3</sub> é o poluente em análise para o qual o coeficiente de correlação é mais próximo de 1 (Figura 31). O BIAS apresenta valores tipicamente negativos, com as excepções das estações de

Calendário e Horto, pelo que se pode concluir que os valores estimados pelo modelo são inferiores aos registados pelas estações de monitorização da qualidade do ar.

Relativamente à dimensão dos erros, tanto em termos sistemáticos como absolutos, as estações de Ermesinde e Leça do Balio são as que apresentam valores mais próximos de zero. Verifica-se, também, que é para estas estações que o índice de concordância é melhor.



**Figura 31 - Gráficos dos parâmetros estatísticos utilizados na avaliação de desempenho do modelo TAPM para o O<sub>3</sub>:**  
(a) Coeficiente de Correlação (r); (b) Erro Sistemático Médio (BIAS); (c) Erro Quadrático Médio (EQM); (d) Índice de Concordância (IOA).

À semelhança do que se verificou para o NO<sub>2</sub>, o índice de concordância para o O<sub>3</sub> é quase sempre superior a 0,5, com excepção das estações de Lamas de Olo e de Calendário.

#### d) SO<sub>2</sub>

Da análise dos gráficos da Figura 32 verifica-se que os valores do coeficiente de correlação são bastante baixos e os valores de BIAS são maioritariamente negativos, o que indica que a variação temporal dos dados simulados não segue a tendência dos observados e que o modelo tende a subestimar as concentrações deste poluente na atmosfera. As estações do Centro de Lacticínios e de Horto são as que apresentam menores erros sistemáticos e absolutos.

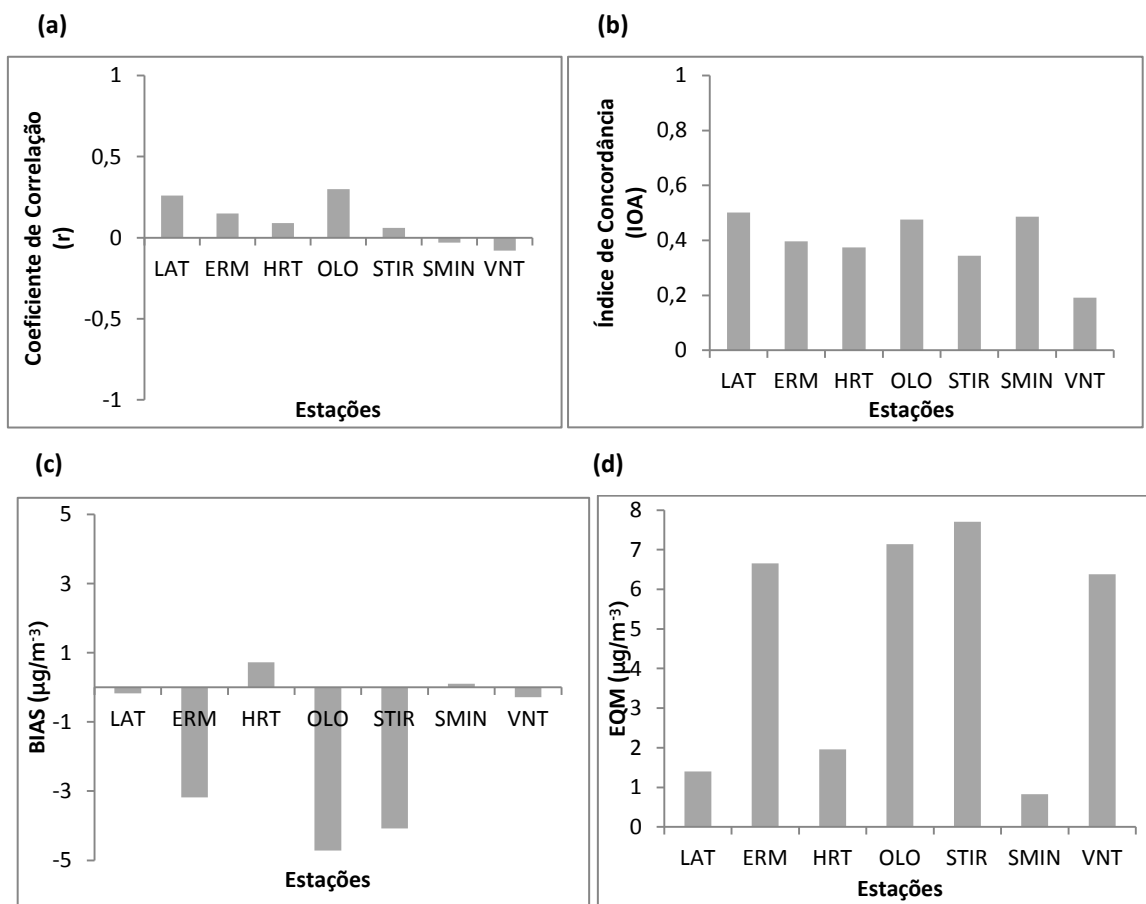


Figura 32 - Gráficos dos parâmetros estatísticos utilizados na avaliação de desempenho do modelo TAPM para o SO<sub>2</sub>: a) Coeficiente de Correlação (r); b) Índice de Concordância (IOA); c) Erro Sistemático Médio (BIAS); d) Erro Quadrático Médio (EQM).

A maioria dos valores obtidos para o índice de concordância indica que existe uma fraca proximidade entre as concentrações de SO<sub>2</sub> observadas e as modeladas, com excepção da estação do Centro de Lacticínios, cujo valor é superior a 0,5.

Fazendo uma análise global de todos os parâmetros estatísticos, que estão resumidos na Tabela 23, verifica-se que de um modo geral os valores do coeficiente de correlação (r) estão abaixo do que seria ideal, o que pode ser explicado pelo facto de apenas estarem a ser analisados dois meses. Esta situação poderia ser resolvida utilizando técnicas de correcção dos erros sistemáticos (BIAS) que, segundo Borrego *et al.* (2011) permitem obter melhorias significativas nos coeficientes de correlação e, assim, melhorar as previsões da qualidade do ar feitas pelo TAPM.

Os valores do índice de concordância são satisfatórios para a maioria das estações, no entanto o O<sub>3</sub> é o poluente que apresenta um maior número de estações com IOA > 0,5. Os poluentes SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> são os que apresentam estações com menores índices de concordância. Importa referir que sendo o O<sub>3</sub> um poluente secundário cujas concentrações não são um reflexo directo das emissões

estimadas e do qual se conhece a curva característica da variação diária das concentrações deste poluente, não é de estranhar que o desempenho do TAPM seja melhor em comparação com outros poluentes (Sousa, 2007).

Verifica-se que é para a estação do Centro de Lacticínios que as simulações de  $\text{NO}_2$  e  $\text{SO}_2$  são mais próximas das concentrações medidas nas estações de monitorização, enquanto que para o  $\text{O}_3$  é a estação de Ermesinde. Para  $\text{PM}_{10}$  a estação de Lamas de Olo é a que reúne os melhores valores de IOA e  $r$  e cuja dimensão dos erros em termos sistemáticos e absolutos é menor. Contudo, esta estação apresenta um conjunto de características especiais. Esta estação, inserida no Parque Natural do Alvão (zona protegida), encontra-se a 1086 m de altitude onde a actividade predominante é a agricultura e a criação de gado. O principal objectivo da estação de Lamas de Olo passa pela monitorização da poluição regional de fundo resultante do transporte de poluentes a longa distância e as emissões da região (Correia, 2007). Num estudo efectuado por Correia (2007) sobre esta região onde se insere a estação de Lamas de Olo, verifica-se que ocorrem com frequência níveis elevados de  $\text{O}_3$  e no perfil horário médio os picos de concentrações que ocorrem a determinada hora do dia (duas horas mais tarde em relação à estação mais próxima) prolongam-se por um período de tempo mais extenso. A autora sugere que esta situação se deva ao transporte de poluentes primários de longas distâncias ou a intrusões de  $\text{O}_3$  estratosférico (devido à altitude a que se encontra a estação).

Tabela 23 - Resumo dos valores obtidos para cada estação e poluente do coeficiente de correlação (r), erro sistemático médio (BIAS), erro quadrático médio (EQM) e coeficiente de correlação (IOA),

| Estações | r     |                 |                |                 | BIAS<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |                 |                |                 | EQM<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |                 |                |                 | IOA  |                 |                |                 |
|----------|-------|-----------------|----------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|------|-----------------|----------------|-----------------|
|          | PM10  | NO <sub>2</sub> | O <sub>3</sub> | SO <sub>2</sub> | PM10                                 | NO <sub>2</sub> | O <sub>3</sub> | SO <sub>2</sub> | PM10                                | NO <sub>2</sub> | O <sub>3</sub> | SO <sub>2</sub> | PM10 | NO <sub>2</sub> | O <sub>3</sub> | SO <sub>2</sub> |
| LAT      | 0,08  | 0,39            | 0,44           | 0,26            | 15,74                                | -1,38           | 4,38           | -0,17           | 28,39                               | 14,78           | 31,31          | 1,40            | 0,37 | 0,60            | 0,69           | 0,50            |
| CAL      | --    | 0,17            | -0,01          | --              | --                                   | 9,97            | 11,21          | --              | --                                  | 20,05           | 38,09          | --              | --   | 0,44            | 0,33           | --              |
| CUS      | --    | --              | 0,46           | --              | --                                   | --              | -17,07         | --              | --                                  | --              | 30,50          | --              | --   | --              | 0,63           | --              |
| ERM      | 0,06  | 0,27            | 0,54           | 0,15            | 20,85                                | -3,24           | -8,29          | -3,18           | 40,11                               | 26,04           | 28,46          | 6,66            | 0,37 | 0,53            | 0,73           | 0,40            |
| HRT      | 0,19  | 0,49            | 0,41           | 0,09            | 8,68                                 | 4,13            | 0,02           | 0,73            | 26,72                               | 12,61           | 31,34          | 1,96            | 0,46 | 0,69            | 0,67           | 0,37            |
| OLO      | 0,20  | -0,12           | 0,58           | 0,30            | 4,38                                 | 5,62            | -39,16         | -4,72           | 18,83                               | 7,10            | 46,51          | 7,14            | 0,52 | 0,27            | 0,50           | 0,48            |
| LEC      | --    | 0,34            | 0,45           | --              | --                                   | 0,25            | -9,27          | --              | --                                  | 24,10           | 29,11          | --              | --   | 0,61            | 0,70           | --              |
| STIR     | --    | 0,31            | 0,49           | 0,06            | --                                   | -10,86          | -0,08          | -4,08           | --                                  | 24,17           | 30,31          | 7,71            | --   | 0,54            | 0,70           | 0,34            |
| SMIN     | -0,06 | --              | 0,55           | -0,03           | 3,85                                 | --              | -14,27         | 0,11            | 25,84                               | --              | 29,51          | 0,83            | 0,12 | --              | 0,68           | 0,49            |
| VNT      | --    | --              | 0,50           | -0,08           | --                                   | --              | -11,25         | -0,28           | --                                  | --              | 28,40          | 6,38            | --   | --              | 0,71           | 0,19            |

#### **3.5.3. ANÁLISE DE RESULTADOS**

Nas figuras 33 a 35 são apresentadas as diferenças (em termos percentuais) entre as concentrações médias estimadas para os cenários de 2020 e o cenários de referência nos meses de Janeiro e Julho. Para avaliar melhor o impacto da incorporação de biodiesel nas concentrações dos poluentes em estudo, são também representadas nas figuras 40 e 41 as diferenças entre os dois cenários de 2020 – B10 e B20.

De uma forma geral, os dados estimados pelo modelo TAPM revelam uma tendência para subestimar as concentrações dos poluentes em análise face ao cenário de referência, com excepção do O<sub>3</sub>. Contudo, e não esquecendo os dados obtidos na análise de desempenho do modelo TAPM, estes resultados não significam necessariamente que a introdução de biodiesel no sector dos transportes promova melhorias na qualidade do ar, uma vez que as alterações feitas no parque automóvel são um factor que influencia os resultados. Na Tabela 24 são apresentadas as variações em termos percentuais das concentrações médias de PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub> para os meses de Janeiro e Julho entre o cenário de referência (2020B0) e os cenários de 2020 (2020B10 e 2020B20) e também entre os dois cenários de 2020.

As concentrações de PM<sub>10</sub> em ambos os cenários de 2020 apresentam uma tendência de diminuição relativamente ao cenários de referência. Sendo as variações entre ambos os cenários de 2020 praticamente insignificantes é possível que os resultados obtidos para PM<sub>10</sub> se devam à utilização de biodiesel no sector dos transportes, uma vez que nas emissões estimadas pelo modelo TREM para 2020 são significativamente inferiores ao cenário de referência.

Para o SO<sub>2</sub>, as estimativas mostram também uma tendência de diminuição nas concentrações deste poluente em ambos os cenários de 2020 comparativamente ao cenário de referência. Comparando, ainda, os dois cenários de incorporação de biodiesel - 2020B10 e 2020B20 – e á semelhança do que se verificou nas emissões de SO<sub>2</sub>, a diferença entre as concentrações é nula, o que pode ser explicado pelo facto do teor de enxofre ser mais baixo nas misturas Diesel/biodiesel do que no diesel convencional (Tabela 19 e Tabela 20). Neste sentido, é possível que a utilização de biodiesel no sector dos transportes tenha um impacte positivo nas concentrações de SO<sub>2</sub> atmosféricas.

Relativamente ao NO<sub>x</sub>, as concentrações em ambos os cenários de 2020 têm tendência a diminuir face ao cenário de referência. Quando comparados os dois cenários de 2020 B10 e B20 esta tendência é invertida à semelhança do que se verifica nas emissões de NO<sub>x</sub>. Contudo estas variações de concentração que se observam nos cenários de incorporação de biodiesel não são

muito significativas. As diferenças entre o cenário de referência e os cenários de 2020 podem ser explicadas pelo aperfeiçoamento das tecnologias de veículos.

Uma vez que as emissões de NO<sub>x</sub> e COV diminuíram significativamente (Figura 25) com a incorporação de biodiesel e sendo estes poluentes precursores de O<sub>3</sub>, seria de esperar que as concentrações de O<sub>3</sub> tendessem a diminuir, o que não se verificou. Esta situação, que pode ser explicada pelo facto de o NO<sub>x</sub> ser consumido para produzir O<sub>3</sub>, pode explicar a tendência de diminuição das concentrações de NO<sub>x</sub>. De facto o O<sub>3</sub> foi o único poluente para o qual se observou uma tendência de aumento nas concentrações em ambos os cenários de 2020 relativamente ao cenário de referência. Comparando, ainda, as diferenças entre os dois cenários B10 e B20 verifica-se que as concentrações de O<sub>3</sub> tendem a diminuir com o aumento da incorporação de biodiesel, apesar de estas diferenças não serem muito relevantes. Esta situação, que é mais evidente na zona do Grande Porto, pode estar relacionada com o equilíbrio de formação de O<sub>3</sub> que, como se viu no subcapítulo 1.2, pode ser perturbado em zonas onde as concentrações de NO são muito elevadas, promovendo a remoção de O<sub>3</sub>.

**Tabela 24- Variações em termos percentuais das concentrações médias de PM10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub> para os meses de Janeiro e Julho dos cenários 2008B0, 2020B10 e 2020B20.**

|                          | Janeiro         | Julho           |
|--------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>2020B10 – 2008B0</b>  |                 |                 |
| PM10 (%)                 | [-2,05; -0,01]  | [-1,75; -0,005] |
| SO <sub>2</sub> (%)      | [-6,85; -0,05]  | [-6,28; -0,01]  |
| NO <sub>x</sub> (%)      | [-6,58; -0,11]  | [-6,62; -0,03]  |
| O <sub>3</sub> (%)       | [0,04; 4,08]    | [-0,01; 2,45]   |
| <b>2020B20 – 2008B0</b>  |                 |                 |
| PM10 (%)                 | [-2,25; -0,01]  | [-1,93; -0,05]  |
| SO <sub>2</sub> (%)      | [-6,85; -0,05]  | [-6,28; -0,01]  |
| NO <sub>x</sub> (%)      | [-6,46; -0,11]  | [-6,50; -0,03]  |
| O <sub>3</sub> (%)       | [0,033; 3,99]   | [-0,009; 2,40]  |
| <b>2020B20 – 2020B10</b> |                 |                 |
| PM10 (%)                 | [-0,21; -0,001] | [-0,18; 0,00]   |
| SO <sub>2</sub> (%)      | 0               | 0               |
| NO <sub>x</sub> (%)      | [0,00; 0,12]    | [0,00; 0,12]    |
| O <sub>3</sub> (%)       | [-0,10; -0,001] | [-0,05; 0]      |

De uma forma geral, a extensão dos impactes gerados pela introdução de biodiesel no sector dos transportes é maior no mês de Janeiro, o que pode ser explicado pelo facto de nos meses de Inverno a dispersão de poluentes ser mais fraca devido às condições de estabilidade atmosférica, mas também pelo facto da intensidade de tráfego ser menor nesta estação.

As aglomerações Porto Litoral, Braga e Vale do Ave são as zonas da região Norte para as quais o impacte da utilização de biodiesel no sector dos transportes é mais notório, o que pode ser explicado pelo facto de ser nessas mesmas aglomerações que o tráfego médio diário é maior.



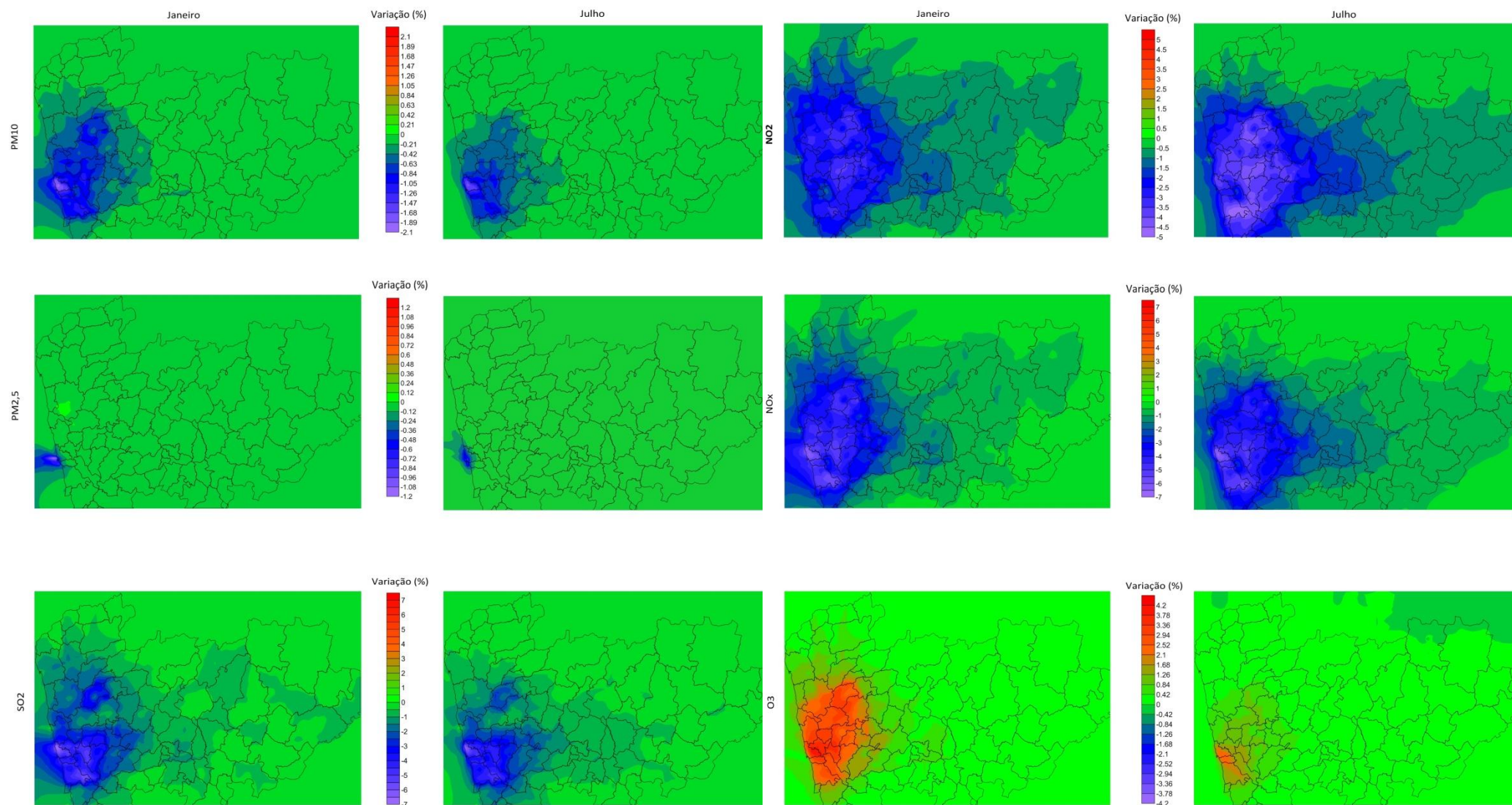


Figura 33 - Variação das concentrações de PM10, PM2,5, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NOx e O<sub>3</sub> no cenário B10 relativamente ao cenário de referência para os meses de Janeiro e Julho.

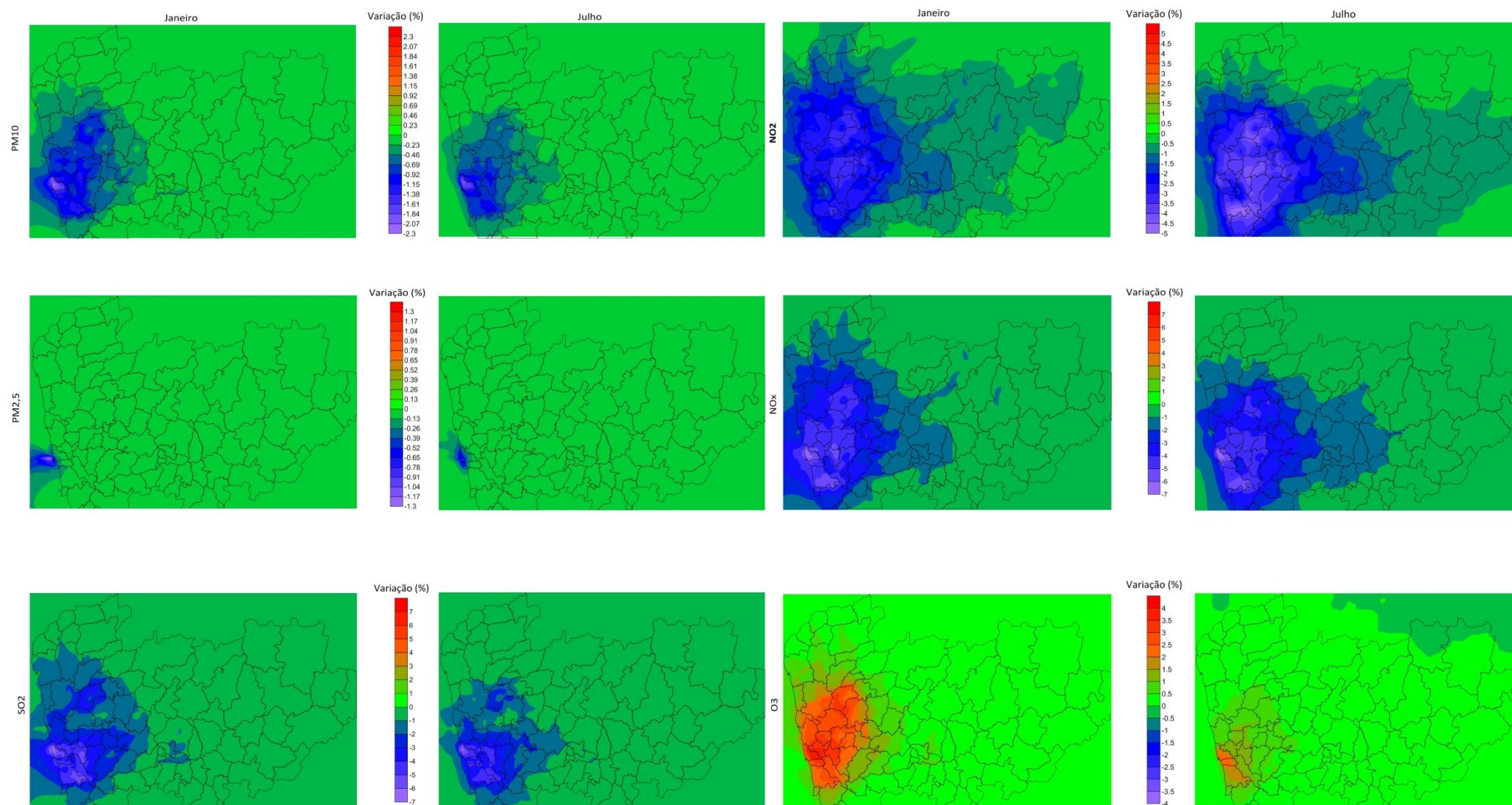


Figura 34- Variação das concentrações de PM10, PM2,5, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NOx e O<sub>3</sub> no cenário B20 relativamente ao cenário de referência para os meses de Janeiro e Julho.



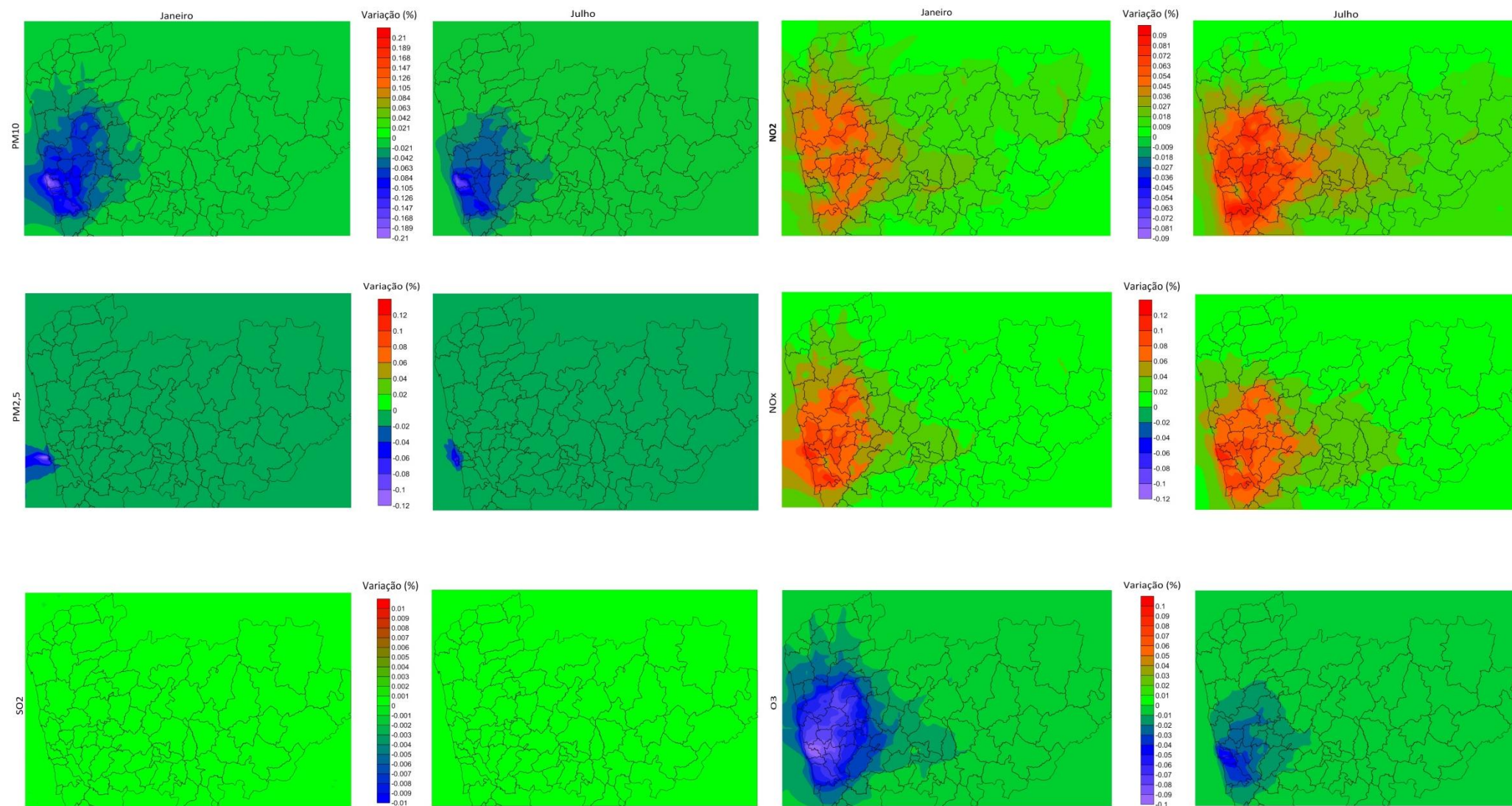


Figura 35- Variações das concentrações de PM10, PM2,5, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NOx e O<sub>3</sub> no cenário B20 relativamente ao cenário B10 para Janeiro e Julho.

#### **4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O sector dos transportes, apesar de ser essencial na evolução das sociedades, é a actividade que consome mais energia e, consequentemente, que emite maiores quantidades de poluentes para a atmosfera. Com a crescente procura de energia, as preocupações com as questões relacionadas com as Alterações Climáticas e a depleção dos combustíveis fósseis tem estimulado a procura de fontes alternativas. Nos últimos anos tem-se assistido a um aumento da produção e consumo de biocombustíveis, potenciando a redução de emissões de GEE, a criação de emprego e promovendo as energias renováveis. Com a entrada em vigor do Decreto-lei n.º 117/2010, de 25 de Outubro, que transporta para direito interno a Directiva 2009/30/CE relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, foram estabelecidas metas de incorporação obrigatória de biocombustíveis para os anos 2011 a 2020. Vários estudos apontam a utilização de biocombustíveis como uma alternativa favorável à diminuição da emissão de GEE e outros poluentes [Dermibas, 2009; Xue e tal, 2011], mitigando as alterações climáticas e melhorando a qualidade do ar, para além de diminuir a dependência energética. Neste sentido, este estudo teve como objectivo avaliar os impactes gerados pela utilização de misturas de biodiesel/diesel nas emissões de poluentes atmosféricos e, consequentemente, na qualidade do ar da região Norte. Esta avaliação foi feita em duas fases, primeiro uma estimativa das emissões de poluentes com o modelo TREM para 3 cenários diferentes – ano 2008 sem incorporação de biodiesel, 2020 com 10% e 20% de incorporação de biodiesel – sendo posteriormente feita a previsão das concentrações desses poluentes atmosféricos a partir do modelo TAPM. Esta incorporação foi feita com uma taxa de penetração de 100%; ou seja, admitiu-se que todo o diesel consumido no sector dos transportes em 2020 tinha uma percentagem de 10% e 20% de biodiesel, consoante os cenários.

As estimativas com o modelo TREM mostraram que para a maioria dos poluentes analisados a redução de emissões é tanto maior quanto maior for a incorporação de biodiesel, com excepção do NO<sub>x</sub>, que aumenta. Foi para os poluentes COVs, SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> que se verificaram maiores reduções face ao cenário de referência (2008): -14,4% (B10) e -17,5% (B20) para COVs; -38,8% (B10 e B20) para SO<sub>2</sub>; -24,45 (B10) e -26,6% (B20) para PM<sub>10</sub>. A diminuição nas emissões de NO<sub>x</sub> nos dois cenários de 2020 face ao ano de referência deve-se essencialmente às alterações feitas no parque automóvel, uma vez que para 2020 foram descartadas classes de veículos com maiores emissões e aumentou-se a percentagem de veículos mais recentes cujas emissões são menores. Para além disso, os factores de emissão aplicados ao NO<sub>x</sub> nos cenários de incorporação de

biodiesel induzem o aumento das emissões deste poluente, o que não se verificou. Este facto é perceptível quando se observa a variação das emissões entre os dois cenários de 2020, onde se verifica um aumento das emissões quando a taxa de incorporação de biodiesel passa de 10 para 20%.

Relativamente às emissões de CO<sub>2</sub>, um dos principais GEE, as reduções que se verificam em ambos os cenários de 2020 são bastante baixas (-1,69 e -1,96% para o cenário B10 e B20, respectivamente).

A diminuição das emissões de SO<sub>2</sub> nos cenários 2020B10 e 2020B20 deve-se exclusivamente à alteração do teor de enxofre no combustível, uma vez que a diferença entre as emissões dos cenários 2020 é nula. Neste contexto, é possível concluir que a diminuição que se verifica para todos os poluentes, com excepção do NO<sub>x</sub>, se deve essencialmente à redução dos factores de emissão aplicados nos dois cenários B10 e B20 de 2020 e das diferenças entre o parque automóvel considerado para 2008 e o estimado para 2020.

Os resultados do TAPM mostram uma tendência geral de diminuição das concentrações dos poluentes PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> para ambos os cenários de 2020 relativamente ao cenário de referência. No entanto as concentrações de O<sub>3</sub> aumentaram com a incorporação de 10 e 20% de biodiesel face a 2008, situação esta que pode ser explicada pelo facto de o NO<sub>x</sub> ser consumido para produzir O<sub>3</sub>, o que também pode explicar a tendência de diminuição das concentrações de NO<sub>x</sub> em ambos os cenários de 2020. Comparando as concentrações de O<sub>3</sub> nos dois cenários de 2020, estas são menores no cenário B20 do que em B10, principalmente na zona do Grande Porto. Esta tendência pode estar relacionada com o equilíbrio de formação de O<sub>3</sub> que pode ser perturbado em zonas onde as concentrações de NO são muito elevadas, favorecendo a remoção de O<sub>3</sub>. Ainda relativamente ao NO<sub>x</sub>, a tendência de diminuição das concentrações de NO<sub>x</sub> deve-se essencialmente às melhores tecnologias utilizadas nos veículos (por exemplo, sistemas EGR e SCR mencionados no subcapítulo 2.2).

De um modo geral, a utilização de biodiesel (taxas de 10 e 20% de incorporação) no sector dos transportes tem impactes positivos nas emissões de GEE, embora para o CO<sub>2</sub> esses impactes não sejam muito elevados (-1,69% para 2020B10 e -1,96% para 2020B20). Os efeitos da incorporação de biodiesel são mais relevantes nas emissões de SO<sub>2</sub> (-38,79% para ambos os cenários de 2020) e de PM<sub>10</sub> (-24,37% para 2020B10 e -26,59% para 2020B20), onde a diminuição destas emissões se deve essencialmente à utilização de biodiesel.

As estimativas feitas neste estudo indicam que a incorporação de 10 e 20% de biodiesel no diesel convencional leva a uma ligeira tendência de melhoria da qualidade do ar, principalmente para o SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>.

É importante referir que, para uma melhor análise dos impactes da introdução de biodiesel no sector dos transportes, seria importante criar um novo cenário para 2008 sem a alteração do parque automóvel. Apesar de se ter mantido o mesmo parque automóvel em ambos os cenários de 2020, poderiam ser minimizados os factores externos e conseguir-se-ia medir directamente os impactes gerados pelo uso de biodiesel, descartando por completo a influência do parque automóvel e as melhorias das tecnologias dos veículos.

Por último, as previsões feitas pelo TAPM podem ser melhoradas utilizando técnicas de correcção de erros sistemáticos (BIAS). Borrego *et al.* (2011) aplica duas técnicas de correcção em três sistemas de modelação da qualidade do ar (MM5 – CHIMERE, MM5 – EURAD e CALIOPE) e os resultados obtidos confirmam a vantagem da utilização de ambas as técnicas – Correcção da taxa multiplicativa e filtro Kalman – melhorando as previsões feitas por estes modelos.

## **BIBLIOGRAFIA**

Associação Automóvel de Portugal. (2010). *Estatísticas do Sector Automóvel*. Lisboa: ACAP. [Obtido em 13 de Janeiro de 2011, disponível em <http://www.autoinforma.pt/estatisticas/estatisticas.html?MIT=36458>]

Aguiar, R., & Santos, F. D. (2007). *Modelo de Prospectiva para Emissões de Gases com Efeito de Estufa em Portugal. Versão 2.2. Relatório Final, Volume I: Cenários de Referência*. Fundação Calouste Gulbenkian, Serviço de Ciência e Instituto D. Luiz. Projecto MISP - Climate Change: Mitigation Strategies In Portugal: Lisboa.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2010). *Relatório do Estado do Ambiente 2009*. Lisboa: APA [Obtido em 15 de Outubro de 2010, disponível em <http://www.apambiente.pt/divulgacao/Publicacoes/REA/Paginas/REA.aspx>]

Associação das Energias Renováveis. (2010). *Roteiro Nacional das Energias Renováveis - Aplicação da Directiva 2009/28/CE. Versão Final*. Renewable Energy Policy Action Paving the Way Towards 2020. [Obtido em 13 de Dezembro de 2010, disponível em Roteiro Nacional das Energias Renováveis - Aplicação da Directiva 2009/28/CE. Renewable Energy Policy Action Paving the Way Towards 2020]

Bernstein, L., Bosch, P., Canzian, O., Chen, Z., Christ, R., Davidson, O., et al. (s.d.). *Publications and Datas: Glossary of Terms used in the IPCC Fourth Assessment Report*.

Borrego, C., Miranda, A.I., Ferreira, J., Tchepel, O., Monteiro, A., Dias, D., Ribeiro, I., Tavares, R., Barbedo, P. (2009) *Melhoria do actual inventário de emissões de poluentes atmosféricos da Região Norte*. Universidade de Aveiro. AMB – QA – 09/2009, Aveiro, Portugal. 202 p.

Borrego, C., Miranda, A. I., Sousa, M., Sousa, S., & Coutinho, M. (2006). *Estado da Qualidade do Ar na Região Norte - 2005, Identificação de medidas para a melhoria da qualidade do ar na Região Norte no que respeita ao ozono e seus precursores, Relatório D1*. Portugal: Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e IDAD.

Borrego, C., Monteiro, A., Pay, M. T., Ribeiro, I., Miranda, A. I., Basart, S., Baldasano, S. B. (2011). *How bias-correction can improve air quality forecasts over Portugal*. Atmospheric Environment, 45, 6629-6641.

Brito, P. J., & Silva, N. M. (2003). *O automóvel e o Ambiente*. Coimbra. Trabalho académico apresentado à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente. (2002). *Energia Portugal 2001*. Lisboa: Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia.

Collins, B. (2004). Climate Change and Air Quality. [Obtido em 10 de Janeiro de 2011, disponível em [http://www.airquality.co.uk/reports/cat12/0505101603\\_Bill\\_Collins.pdf](http://www.airquality.co.uk/reports/cat12/0505101603_Bill_Collins.pdf)]

Colville, R. N., Hutchinson, E., Mindell, J. S., & Warren, R. F. (2001). *The transport sector as a source of air pollution*. Atmospheric Environment, Vol. 35, 1537-1565.



Comissão das Comunidades Europeias. (2005). *Plano de acção Biomassa*. Bruxelas. [Obtido em 20 de Maio de 2011, disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0628:FIN:PT:PDF>]

Correia, A. I. (2007). *Simulação do ozono no ar ambiente no nordeste transmontano*. Aveiro. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Custódio, A. M., & Matias, N. (2004). *Programa Nacional para as Alterações Climáticas*. Lisboa: Instituto Superior Técnico. [Obtido em 13 de Dezembro de 2010, disponível em <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/40950/1/Trabalho%2011%20Programa%20Nacional%20para%20as%20Alter%C3%A7%C3%B5es%20Clim%C3%A1ticas.pdf>]

Demirbas, A. (2009). *Biofuels - Securing the Planet's Future Energy Needs*. Turkey: Springer.

Borrego, C.; Miranda, A. I.; Ferreira, J.; Tchepel, O.; Monteiro, A.; Dias, D.; Ribeiro, I.; Tavares, R.; Barbedo, P. (2008). *Melhoria do actual inventário de emissões de poluentes atmosféricos da Região Norte*. Relatório Final.AMB-QA-0972009, Setembro de 2009.

Environmental Protection Agency . (2009). Assessment of the Impacts of Global Change on Regional U.S. Air Quality: A synthesis of climate change impacts on ground-level ozone. Washington, D.C.: National Center for Environmental.

Environmental Protection Agency. (2002). *A comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions Draft* . Technical Report. Environmental Protection, EPA 420-P-02-001 . United States Environmental Protection Agency.

European Monitoring and Evaluation Programme/European Environmental Agency. (2009). *Air pollutant emission inventory guidebook*. [Obtido em 25 de Abril de 2010, disponível em <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>]

Figueiredo, C., & Sousa, S. (2010). *Avaliação da Qualidade do Ar na Região Norte em 2008*. Porto: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional Norte.

Fischer, G., Hiznyik, E., Prieler, S., & Velthuisen, H. V. (2007). *Assessment of biomass potentials for biofuel feedstock production in Europe: Methodology and results*. LIASA - Land Use Change and Agriculture Program: REFUEL.[Obtido em 5 de Outubro de 2011, disponível em [www.refuel.eu/.../Refuel-D6-Jul2007-final6.pdf](http://www.refuel.eu/.../Refuel-D6-Jul2007-final6.pdf)]

Fontaras, G., & al., e. (2010). *Effects of low concentration biodiesel blend application on modern passenger cars. Part 1: Feedstock impact on regulated pollutants, fuel consumption and particle emissions*. Environmental Pollution , 1451-1460.

Fontaras, G., Tzamkiozis, T., Pistikopoulos, P., & Samaras, Z. (2008). *Investigation of the potencial use of straight vegetable oils and their methylesters and diesel engine fuels*. Laboratory of Applied Thermodynamics/Aristotle University PAVET Project final report , Report No.08.RE.0002.V1.

Fontes, T. D. (2010). *Impacte da qualidade do ar urbana na saúde pública: O caso da cidade do Porto*. Tese de Doutoramento apresentada ao Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.



Fontaras, G, Samaras, Z, & Miltsios, G. (2007). *Experimental Evaluation of Cottonseed Oil-Diesel Blends as Automotive Fuels via Vehicle and Engine Measurements*. SAE paper 2007-24-0126.

Gírio, F., Matos, C., & Oliveira, C. (2010). *Biocombustíveis & Sustentabilidade: oportunidades nacionais 2011-2020*. Lisboa: LNEG. Conferência "Energia e Geologia - Desafios e oportunidades" (24/09/2010. [Obtido em 13 de Dezembro de 2010, disponível em <http://www.lneg.pt/download/1094>].

Godish, T. (2004). *Air Quality*. Lewis Publishers.

Gomes, B. M. (2010). *Potencial de Redução de Emissões de GEE do Bioetanol: contributo da análise de ciclo de vida da beterraba sacarina e do cardo como fontes de biomassa nacionais*. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.

Hansen, A. C. (2008). *Combustion and Emissions - Characteristics of biodiesel fuel*. Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign.

Hensher, D. A. (2008). *Climate change, enhanced greenhouse gas emissions and passenger transport - What can we do to make a difference?* Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 13 , 95-111.

Hurley, P. J., Physick, W. L., & Luhar, A. K. (2005). *TAPM: a practical approach to prognostic meteorological and air pollution modelling*. Environmental Modelling & Software 20 , 737-752.

Instituto Meteorológico de Portugal. (2009). *Boletim climatológico anual - 2008*. [Obtido em 12 de Fevereiro de 2011, disponível em <http://www.meteo.pt/>].

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). *Effect of climate change on air quality*. Atmospheric Environment , 51-63.

Knothe, G., Sharp, C. A., & Ryan, T. W. (2006). *Exhaust Emissions of Biodiesel, Petrodiesel, Neat Methyl Esters, and Alkanes in a New Technology Engine*. Energy & Fuels , 20, 403-408.

Krahl, J., Munack, A., Grope, N., Ruschel, Y., Schroder, O., Stein, H., et al. (2007). *Biodiesel, Rapeseed Oil, Gas-To-Liquid, and a Premium Diesel Fuel in Heavy Duty Diesel Engines: Endurance, Emissions and Health Effects*. Clean , 35(5), 417-426.

Lameiras, H. (2009). *Relatório da Qualidade do Ar na Região Centro 2009*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro.

Majer, S., Mueller-Lunger, F., Zeller, V., & Kaltschmitt, M. (2009). *Implications of biodiesel production and utilisation on global climate - A literature review*. European Journal of Lipid Science and Technology, 111, 747-762.

Martifer Group. (2008). *Inovação nas Organizações - O Caso Martifer. Conferência Controlvet - Tendências para o futuro*. [Obtido em 13 de Dezembro de 2010, disponível em [http://www.controlvet.pt/images/im\\_conferencia/pdfs\\_conferencia08/Inovacao\\_nas\\_organizacoes.pdf](http://www.controlvet.pt/images/im_conferencia/pdfs_conferencia08/Inovacao_nas_organizacoes.pdf)].

McCormick, R., Tennant, C. J., Hayes, R. R., Black, S., Ireland, J., McDaniel, T., Williams, A., Frailey, M. (2005). *Regulated Emissions from Biodiesel tested in Heavy-Duty Engines Meeting 2004 Emission Standards*. SAE paper 2005-01-2200.

Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. (2002). *Relatório do Estado do Ambiente 2001*. Lisboa: MCOTA.

Ministério da Economia e da Inovação, Decreto-lei n.º 117/2010 (25 de Outubro de 2010).

Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. (2007). *MEID - Energia*. [Obtido em 24 de Janeiro de 2011, disponível em <http://www.min-economia.pt/innerPage.aspx?idCat=51&idMasterCat=13&idLang=1>]

Monteiro, R. T. (2009). *Análise de Ciclo de Vida do Biodiesel - Aplicação à Realidade Nacional*. Tese de mestrado apresentada ao Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (2006). *Plano de Actuação do PNAC Transportes*. Lisboa: MOPTC.

Moreira, S. M. (2008). *Influência do Biodiesel nas emissões de poluentes de um motor turbo diesel*. Relatório de projecto final apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Morris, R. E., Pollack, A. K., Mansell, G. E., Lindhjem, C., Jia, Y., & Wilson, G. (2003). *Impact of Biodiesel Fuels on Air Quality and Human Health*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.

Ntziachristos, L., Mellios, G., Fontaras, G., Gkeivanidis, S., Kousoulidou, M., Gkatzoflias, D., Papageorgiou, T., Kouridis, C., Samaras, Z. (2007). *Updates of the Guidebook Chapter on Road Transport*, LAT Report 0707.

Matos, C., Oliveira, A. C., Bogel-Lukasik, R., Gírio, F. (2010). *Sustentabilidade de Biocombustíveis: Implementação Nacional da Estratégia Europeia*. Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

Reger, D., Goode, S., & Mercer, E. (1997). *Química: Princípio e Aplicações*. Lisboa: Fundação Caloust Gulbenkian.

Ribeiro, I., Tavares, A. M., Sá, E., & Lopes, M. (2011). *Impacts of Biofuels on Air Quality: Northern Portugal case study*. World Academy of Science, Engineering and Technology, 59, 2050-2055

Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B. (2009). *The Geography of Transport Systems*. Nova Iorque: Routledge.

- Rosa, M. F. (2006). *Situação actual dos biocombustíveis e perspectivas futuras*. Gazeta de Física , 42-47.
- Santos, F. D., Forbes, K., & Moita, R. (2002). *Climate change in Portugal scenarios impacts and adaptation measures - SIAM project*. Lisboa: Gradive - Publicações Lda.
- Santos, S. P. (2009). *Biocombustíveis: análise ao nível da competitividade na UE*. Tese de Mestrado apresentada ao Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.
- Seixas, J., & Alves, B. (2006). *Avaliação do estado de cumprimento do Protocolo de Quioto - Transportes*. Lisboa: E.Value.
- Sillman, S. (1999). *The relation between ozone, NOx and hydrocarbons in urban and polluted rural environments*. Atmospheric Environment, Vol. 33 , 1821-1845.
- Silva, J. R. (2010). *Biocombustíveis nos Estados Unidos em contexto de mudança*. In F. R. Fernandes, A. B. Luz, & Z. C. Castilhos, *Agrominerais para o Brasil* (pp. 265-276). Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral.
- Silva, L. F. (2009). *Análise da influência da utilização de biocombustível num motor de combustão interna por compressão: desempenho, emissões de gases de escape e partículas totais em suspensão*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. (tese)
- Silva, R. M. (2009). *Modelação das Emissões Atmosféricas Associadas aos Transportes no Município de Leiria*. Aveiro: Tese de Mestrado apresentada ao Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.
- Sousa, P. M. (2008). *Simulação da qualidade do ar para Portugal com o modelo TAPM*. Aveiro: Tese de Mestrado apresentada ao Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.
- Sousa, S. G. (2007). *Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região Norte*. Aveiro: Tese de Mestrado apresentada ao Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.
- Stefan Majer, F. M.L. (2009). *Implications of biodiesel production and utilization on global climate - A literature review*. Eur. J. Lipid Sci. Technol. , 747-762.
- Sze, C., Whinihan, J. K., Olson, B. A., Schenk, C. R., & Sobotowski, R. A. (2007). *Impact of Test Cycle and Biodiesel Concentration on Emissions*. SAE paper 2007-01-40.
- Tchepel, O. A. (2003). *Modelo de emissões para apoio à decisão na Gestão da Qualidade do Ar*. Aveiro: Tese de Doutoramento apresentada ao Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.
- Tchepel, O.; Tavares, R.; Ferreira, J.; Dias, D. *TREM - Modelo de Emissões dos Transportes para fontes em linha - Metodologia* (Relatório Técnico). Departamento de Ambiente e Ordenamento: universidade de Aveiro.

Wang, W.-x., Shai, F.-h., Shang, K., & etal. (2008). *Study on ambient air quality in Beijing for the summer 2008 Olympic Games*. Air Quality, Atmosphere & Health Vol. 1 Issue 1 , 31-36.

Winther, M. (2009). *Emission differences between petroleum based diesel and different biodiesel blend rations for road transport vehicles*. Transport and Air Pollution Symposium - 3rd Environment and Transport Symposium, n.º 17. Toulouse.

World Health Organization. (2005). *Particulate Matter Air Pollution: How it Harms Health*. Berlin. [Obtido em 30 de Junho de 2011, disponível em <http://www.euro.who.int/document/mediacentre/fs0405e.pdf>]

Xue, J., Grift, T. E., & Hansen, A. C. (2011). *Effect of biodiesel on engine performances and emissions*. Renewable and sustainable energy reviews , 1098-1116.

**WEBGRAFIA**

URL 1-

<http://www.apambiente.pt/politicasambiente/AlteracoesClimaticas/PNAC/MedidasPNAC/Paginas/default.aspx>

URL 2- <http://www.min-economia.pt/innerPage.aspx?idCat=51&idMasterCat=13&idLang=1>

URL 3 – <http://www.platforme-biocarburants.ch/en/infos/biodiesel.php>

URL 4 – <http://www.platforme-biocarburants.ch/en/infos/eu-biodiesel.php>

URL 5 - <http://www.platforme-biocarburants.ch/en/infos/bioethanol.php>

URL 6 – <http://portal.min-agricultura.pt/portal/page/portal/MADRP/PT/servicos/Pesquisa?keywords=culturas energ\u00E9ticas&docsRequested=10&filterConnector=matchAny&dataGroup=null&searchGet=1&box=1&startIndex=11>

URL 7 - [http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias.asp?ID\\_conteudo=66&ID\\_area=15](http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias.asp?ID_conteudo=66&ID_area=15)

URL 8- [http://www.iberol.com.pt/download\\_pdf/1.pdf](http://www.iberol.com.pt/download_pdf/1.pdf)

URL 9 - <http://www.pordata.pt/Portugal/Ambiente+de+Consulta>

URL 10 -

[http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_unid\\_territorial&menuBOUI=13707095&context=ut&selTab=tab3](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_unid_territorial&menuBOUI=13707095&context=ut&selTab=tab3)

URL 11 - <http://www.isp.pt/NR/exeres/7D383D46-9431-416E-98C7-395B0A9E7080.htm>

URL 12 – <http://www.appb.pt>

URL 13 - <https://www.ua.pt/gemac/PageText.aspx?id=11483>

URL 14 - <http://www.qualar.org/?page=6>

---

## **ANEXOS**

---



## ANEXO I - CLASSES DE VEÍCULOS DE PASSAGEIROS PARA O ANO 2008

### a) Ligeiros de passageiros de Gasolina

|                           | Unidades         | %            |
|---------------------------|------------------|--------------|
| <b>Idade média (anos)</b> | 8.9              | —            |
| <b>Até 1 ano</b>          | 203 320          | 4.6          |
| <b>De 1 a 2 anos</b>      | 211 868          | 4.8          |
| <b>De 2 a 3 anos</b>      | 232 108          | 5.3          |
| <b>De 3 a 4 anos</b>      | 235 075          | 5.4          |
| <b>De 4 a 5 anos</b>      | 234 831          | 5.4          |
| <b>De 5 a 10 anos</b>     | 1562 539         | 35.7         |
| <b>De 10 a 15 anos</b>    | 1042 859         | 23.8         |
| <b>De 15 a 20 anos</b>    | 565 792          | 12.9         |
| <b>Mais de 20 anos</b>    | 90 608           | 2.1          |
| <b>Total</b>              | <b>4 379 000</b> | <b>100.0</b> |

Para o ano 2008 e sendo a idade média dos veículos de 8,9 anos, não foram considerados os veículos com mais de 30 anos de idade; ou seja, excluíram-se as classes PRE ECE [1970-1971], ECE(15-00/01) [1972-1977] e ECE (15-00/02)[1978-1980].

|                                   | Nº de veículos | %       | cc<1,41 | 1,41<cc<2,01 | cc>2,01 |
|-----------------------------------|----------------|---------|---------|--------------|---------|
| <b>PRE ECE (1970-1971)</b>        | 0              | -       | -       | -            | -       |
| <b>ECE (15-00/01)[1972-1977]</b>  | 0              | -       | -       | -            | -       |
| <b>ECE (15-00/02) [1978-1980]</b> | 0              | -       | -       | -            | -       |
| <b>ECE (15-03) [1981-1985]</b>    | 27182.43       | 0,6207  | 0.2973  | 0.3126       | 0.0108  |
| <b>ECE (15-04) [1986-1991]</b>    | 63 426         | 1,4484  | 0.6937  | 0.7294       | 0.0253  |
| <b>EURO 1 [1992-1996]</b>         | 1608652        | 36,7356 | 17.5937 | 18.5003      | 0.6416  |
| <b>EURO 2 [1997-2000]</b>         | 1562539        | 35,6825 | 17.0894 | 17.9700      | 0.6232  |
| <b>EURO 3 [2001-2005]</b>         | 913 882        | 20,8697 | 9.9951  | 10.5101      | 0.3645  |
| <b>EURO 4 [2006-2010]</b>         | 203 320        | 4,6431  | 2.2237  | 2.3383       | 0.0811  |

Exemplo de cálculo:

Classe EURO 4 [2006-2007]

- Percentagem de veículos desta classe

$$\% \text{ EURO 4} = \frac{\text{Nº veículos 1 ano}}{\text{Total veículos}} = \frac{203320}{4379000} = 0,046431$$

- Percentagem de veículos com cilindrada inferior a 1,41 cc – para este cálculo foram considerados os valores de referência dados pelas “Estatísticas dos transportes 2009” (INE).



| Classes de cilindrada | Total   |
|-----------------------|---------|
| <b>Automóveis</b>     | 224 858 |
| ≤ 750 c.c.            | 398     |
| De 751 a 1 500        | 107 293 |
| De 1 501 a 3 750      | 113 240 |
| De 3 751 a 6 000      | 1 378   |
| De 6 001 a 8 000      | 649     |
| De 8 001 e mais       | 1 900   |
| Ignorada              | 0       |

$$\begin{aligned} \% \text{ veículos } cc < 1,41 &= \frac{N^{\circ} \text{ veículos } cc < 1500}{N^{\circ} \text{ total veículos}} \times \% \text{ veículos EURO 4} \\ &= \frac{(398 + 107293)}{252674} \times 0,46431 \times 100 = 2,223 \end{aligned}$$

Para o ano 2020 considerou-se que não existiam veículos anteriores a 1990.

|                                   | %     | CC<1,41 | 1,41<CC<2,01 | CC>2,01 |
|-----------------------------------|-------|---------|--------------|---------|
| <b>PRE ECE (1970-1971)</b>        |       | -       | -            | -       |
| <b>ECE (15-00/01)[1972-1977]</b>  |       | -       | -            | -       |
| <b>ECE (15-00/02) [1978-1980]</b> |       | -       | -            | -       |
| <b>ECE (15-03) [1981-1985]</b>    |       | -       | -            | -       |
| <b>ECE (15-04) [1986-1991]</b>    |       | -       | -            | -       |
| <b>EURO 1</b>                     | 36.73 | 17,59   | 18,5         | 0,64    |
| <b>EURO 2</b>                     | 37.68 | 17,09   | 17,97        | 0,62    |
| <b>EURO 3</b>                     | 20.87 | 10      | 10,51        | 0,36    |
| <b>EURO 4</b>                     | 6.72  | 3,21    | 3,38         | 0,13    |

b) Ligeiros de passageiros a Diesel e GPL

|                           | Unidades         | %            |
|---------------------------|------------------|--------------|
| <b>Idade média (anos)</b> | 8.9              | —            |
| <b>Até 1 ano</b>          | 203 320          | 4.6          |
| <b>De 1 a 2 anos</b>      | 211 868          | 4.8          |
| <b>De 2 a 3 anos</b>      | 232 108          | 5.3          |
| <b>De 3 a 4 anos</b>      | 235 075          | 5.4          |
| <b>De 4 a 5 anos</b>      | 234 831          | 5.4          |
| <b>De 5 a 10 anos</b>     | 1562 539         | 35.7         |
| <b>De 10 a 15 anos</b>    | 1042 859         | 23.8         |
| <b>De 15 a 20 anos</b>    | 565 792          | 12.9         |
| <b>Mais de 20 anos</b>    | 90 608           | 2.1          |
| <b>Total</b>              | <b>4 379 000</b> | <b>100.0</b> |

|                                 | Nº de<br>veículos | %     |
|---------------------------------|-------------------|-------|
| <b>Convencional [1970-1991]</b> | 656 401           | 14.99 |
| <b>EURO 1 [1992-1996]</b>       | 1042859           | 23.82 |
| <b>EURO 2 [1997-2000]</b>       | 1562539           | 35.68 |
| <b>EURO 3 [2001-2005]</b>       | 913 882           | 20.87 |
| <b>EURO 4 [2006-2010]</b>       | 203 320           | 4.64  |

c) Ligeiro Mercadorias a Diesel – admitiu-se que todos os veículos comerciais são a diesel.

|                           | Unidades         | %            |
|---------------------------|------------------|--------------|
| <b>Idade média (anos)</b> | 8.0              | —            |
| <b>Até 1 ano</b>          | 66 027           | 5.5          |
| <b>De 1 a 2 anos</b>      | 68 824           | 5.7          |
| <b>De 2 a 3 anos</b>      | 75 050           | 6.3          |
| <b>De 3 a 4 anos</b>      | 76 359           | 6.4          |
| <b>De 4 a 5 anos</b>      | 74 410           | 6.2          |
| <b>De 5 a 10 anos</b>     | 527 270          | 44.0         |
| <b>De 10 a 15 anos</b>    | 241 498          | 20.2         |
| <b>De 15 a 20 anos</b>    | 60 069           | 5.0          |
| <b>Mais de 20 anos</b>    | 8 493            | 0.7          |
| <b>Total</b>              | <b>1 198 000</b> | <b>100.0</b> |

|                               |         | %      |
|-------------------------------|---------|--------|
| <b>Convencional 1970-1992</b> | 68 561  | 5.723  |
| <b>EURO 1 [1993-1997]</b>     | 241 498 | 20.158 |
| <b>EURO 2 [1998-2001]</b>     | 527 270 | 44.013 |
| <b>EURO 3 [2002-2006]</b>     | 294 644 | 24.595 |
| <b>EURO 4 [2007-2010]</b>     | 66 027  | 5.511  |

d) Pesados de mercadorias a Diesel

|                           | Unidades       | %            |
|---------------------------|----------------|--------------|
| <b>Idade média (anos)</b> | 11.6           | —            |
| <b>Até 1 ano</b>          | 6 007          | 4.4          |
| <b>De 1 a 2 anos</b>      | 4 845          | 3.6          |
| <b>De 2 a 3 anos</b>      | 5 024          | 3.7          |
| <b>De 3 a 4 anos</b>      | 5 158          | 3.8          |
| <b>De 4 a 5 anos</b>      | 4 272          | 3.2          |
| <b>De 5 a 10 anos</b>     | 34 700         | 25.7         |
| <b>De 10 a 15 anos</b>    | 30 002         | 22.2         |
| <b>De 15 a 20 anos</b>    | 31 226         | 23.1         |
| <b>Mais de 20 anos</b>    | 13 766         | 10.2         |
| <b>Total</b>              | <b>135 000</b> | <b>100.0</b> |

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| <b>Camião</b>             | <b>66 819</b> |
| <b>3 501 - 10 000 Kg</b>  | 23 520        |
| <b>10 001 - 16 000 Kg</b> | 11 147        |
| <b>16 001 - 19 000 Kg</b> | 12 333        |
| <b>19 001 - 22 000 Kg</b> | 195           |
| <b>22 001 - 26 000 Kg</b> | 12 941        |
| <b>Mais de 26 000 Kg</b>  | 6 682         |

|                                 | Nº de veículos | %    | Peso < 7,5 ton | [7,5 ton- 16 ton] | [16 ton - 32 ton] | Peso > 32 ton |
|---------------------------------|----------------|------|----------------|-------------------|-------------------|---------------|
| <b>Convencional (1970-1991)</b> | 44 992         | 0.33 | 11.73          | 5.56              | 12.70             | 3.33          |
| <b>EURO 1 (1992-1995)</b>       | 30 002         | 0.22 | 7.82           | 3.71              | 8.47              | 2.22          |
| <b>EURO 2 (1996-1999)</b>       | 34 700         | 0.26 | 9.05           | 4.29              | 9.80              | 2.57          |
| <b>EURO 3 (2000-2005)</b>       | 14 454         | 0.11 | 3.77           | 1.79              | 4.08              | 1.07          |
| <b>EURO 4 (2005-2008)</b>       | 10 852         | 0.08 | 2.83           | 1.34              | 3.06              | 0.80          |
| <b>EURO 5 (2008-2010)</b>       | 0              | 0    | -              | -                 | -                 | -             |

e) Autocarros

|                           | Unidades      | %            |
|---------------------------|---------------|--------------|
| <b>Idade média (anos)</b> | 11.6          | —            |
| <b>Até 1 ano</b>          | 759           | 5.0          |
| <b>De 1 a 2 anos</b>      | 600           | 4.0          |
| <b>De 2 a 3 anos</b>      | 795           | 5.3          |
| <b>De 3 a 4 anos</b>      | 660           | 4.4          |
| <b>De 4 a 5 anos</b>      | 607           | 4.0          |
| <b>De 5 a 10 anos</b>     | 3 931         | 26.0         |
| <b>De 10 a 15 anos</b>    | 2 731         | 18.1         |
| <b>De 15 a 20 anos</b>    | 2 886         | 19.1         |
| <b>Mais de 20 anos</b>    | 2 132         | 14.1         |
| <b>Total</b>              | <b>15 100</b> | <b>100.0</b> |

|                                 | Nº de veículos | %    |
|---------------------------------|----------------|------|
| <b>Convencional [1970-1991]</b> | 5 018          | 0.33 |
| <b>Euro 1 [1992-1995]</b>       | 2 731          | 0.18 |
| <b>Euro 2 [1996-1999]</b>       | 3 931          | 0.26 |
| <b>Euro 3 [2000-2005]</b>       | 2 061          | 0.14 |
| <b>Euro 4 [2005-2008]</b>       | 1 359          | 0.09 |

f) Motociclos

|                           | Unidades       | %            |
|---------------------------|----------------|--------------|
| <b>Idade média (anos)</b> | 6.7            | —            |
| <b>Até 1 ano</b>          | 11 889         | 7.4          |
| <b>De 1 a 2 anos</b>      | 11 229         | 7.0          |
| <b>De 2 a 3 anos</b>      | 10 828         | 6.8          |
| <b>De 3 a 4 anos</b>      | 15 016         | 9.4          |
| <b>De 4 a 5 anos</b>      | 13 752         | 8.6          |
| <b>De 5 a 6 anos</b>      | 15 384         | 9.6          |
| <b>De 6 a 7 anos</b>      | 15 529         | 9.7          |
| <b>De 7 a 8 anos</b>      | 13 340         | 8.4          |
| <b>De 8 a 9 anos</b>      | 11 918         | 7.5          |
| <b>De 9 a 10 anos</b>     | 8 484          | 5.3          |
| <b>De 10 a 15 anos</b>    | 23 686         | 14.8         |
| <b>Mais de 15 anos</b>    | 8 590          | 5.4          |
| <b>Total</b>              | <b>159 645</b> | <b>100.0</b> |

| Classes de cilindrada | Nº veículos |
|-----------------------|-------------|
|-----------------------|-------------|

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| <b>Total Motociclos</b> | 19 399 |
| <b>≤ 125 c.c.</b>       | 11 966 |
| <b>De 126 a 250</b>     | 1 218  |
| <b>De 251 a 350</b>     | 237    |
| <b>De 351 a 600</b>     | 2 265  |
| <b>De 601 e mais</b>    | 3 713  |

|                                 | <b>Nº de<br/>veículos</b> | <b>&lt;250 CC</b> | <b>250&lt;CC&lt;750</b> | <b>&gt;750</b> | <b>%</b> |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|----------------|----------|
| <b>1970-1999 (Moto4 Conv.)</b>  | 66018                     | 28,10             | 5,33                    | 7,92           | 41,35    |
| <b>2000-2010 (Moto4 Stage1)</b> | 93627                     |                   |                         |                | 58,65    |

g) Novas Tecnologias

Nesta classe foram considerados apenas os veículos eléctricos.

## ANEXO II – CLASSES DE VEÍCULOS PARA ANO 2020

### a) Veículos ligeiros de passageiros a gasolina

Para a distribuição por classes do parque automóvel para o ano 2020 considerou-se que os veículos posteriores ao ano 1990 teriam sido abatidos. Para além disso, aumentou-se a percentagem de veículos das classes mais recentes.

| Classes de veículos        | %     | CC<1,41 | 1,41<CC<2,01 | CC>2,01 |
|----------------------------|-------|---------|--------------|---------|
| PRE ECE (1970-1971)        | -     | -       | -            | -       |
| ECE (15-00/01)[1972-1977]  | -     | -       | -            | -       |
| ECE (15-00/02) [1978-1980] | -     | -       | -            | -       |
| ECE (15-03) [1981-1985]    | -     | -       | -            | -       |
| ECE (15-04) [1986-1991]    | -     | -       | -            | -       |
| EURO 1 [1992-1996]         | 36,73 | 17,59   | 18,5         | 0,64    |
| EURO 2 [1997-2000]         | 35,68 | 17,09   | 17,97        | 0,62    |
| EURO 3 [2001-2005]         | 20,87 | 10      | 10,51        | 0,36    |
| EURO 4 [2006-2010]         | 6,72  | 3,21    | 3,38         | 0,13    |

### a) Veículos ligeiros de passageiros a diesel e GPL

| Classes de veículos      | %     |
|--------------------------|-------|
| Convencional [1970-1991] |       |
| EURO 1 [1992-1996]       | 13,27 |
| EURO 2 [1997-2000]       | 31,67 |
| EURO 3 [2001-2005]       | 41,13 |
| EURO 4 [2006-2010]       | 13,93 |

### b) Veículos ligeiros de mercadorias a diesel

| Classes de veículos      | %     |
|--------------------------|-------|
| Convencional [1970-1991] |       |
| EURO 1 [1992-1996]       | 20,16 |
| EURO 2 [1997-2000]       | 44,01 |
| EURO 3 [2001-2005]       | 24,56 |
| EURO 4 [2006-2010]       | 11,24 |

### c) Veículos pesados de mercadorias a diesel

| Classes de veículos             | %     | Peso<7,5 ton | 7,5<Peso<16 ton | 16<Peso<32 ton | Peso>32 ton |
|---------------------------------|-------|--------------|-----------------|----------------|-------------|
| <b>Convencional (1970-1991)</b> |       |              |                 |                |             |
| <b>EURO 1 (1992-1995)</b>       | 21,64 | 7,62         | 3,61            | 8,25           | 2,16        |
| <b>EURO 2 (1996-1999)</b>       | 28,36 | 9,98         | 4,73            | 10,81          | 2,84        |
| <b>EURO 3 (2000-2005)</b>       | 31,74 | 11,17        | 5,3             | 12,1           | 3,17        |
| <b>EURO 4 (2005-2008)</b>       | 14,54 | 5,12         | 2,43            | 5,54           | 1,45        |
| <b>EURO 5 (2008-2010)</b>       | 3,72  | 1,31         | 0,62            | 1,42           | 0,37        |

d) Autocarros

|                                 | %     |
|---------------------------------|-------|
| <b>Convencional (1970-1991)</b> | 0     |
| <b>EURO 1 (1992-1995)</b>       | 20,56 |
| <b>EURO 2 (1996-1999)</b>       | 23,79 |
| <b>EURO 3 (2000-2005)</b>       | 32,18 |
| <b>EURO 4 (2005-2008)</b>       | 17,12 |
| <b>EURO 5 (2008-2010)</b>       | 6,35  |

e) Motociclos

|                                 | <250 cc | 250<cc<750 | >750 cc |
|---------------------------------|---------|------------|---------|
| <b>1970-1999 (Moto4 Conv.)</b>  | 28,1    | 5,33       | 7,92    |
| <b>2000-2010 (Moto4 Stage1)</b> | 58,65   |            |         |

f) Novas tecnologias

Para esta classe de veículos apenas se consideraram os veículos eléctricos, à semelhança do que foi feito para o ano 2008.

### ANEXO III – CATEGORIAS DE VEÍCULOS PARA O ANOS 2008 E 2020

| Parque automóvel nacional |                 |         |       |       |
|---------------------------|-----------------|---------|-------|-------|
|                           | N.º de veículos |         | %     |       |
|                           | 2008            | 2020    | 2008  | 2020  |
| Ligeiros passageiros      | 4379000         | 5000000 | 69,91 | 72,11 |
| Ligeiros comerciais       | 1198000         | 1251000 | 19,13 | 18,04 |
| Pesados mercadorias       | 135000          | 150000  | 2,15  | 1,95  |
| Pesados passageiros       | 15100           |         | 0,24  | 0,22  |
| Motociclos                | 536645          | 533270  | 8,57  | 7,69  |
| Total veículos            | 5886745         | 6934270 | 100   |       |

| Combustível      |         |           |
|------------------|---------|-----------|
|                  | TOTAL   | %         |
| GASOLINA         | 3237469 | 65,03     |
| GASOLEO          | 1703623 | 34,22     |
| GAS              | 1       | 2,009E-05 |
| ELECTRICO        | 20      | 0,000402  |
| GPL              | 30      | 0,000603  |
| GNC              | 4       | 8,035E-05 |
| GASOLINA/GPL     | 32968   | 0,662     |
| GASOLEO/GPL      | 32      | 0,000643  |
| GASOLINA/GNC     | 79      | 0,00159   |
| ELEC/GASOLIN     | 1920    | 0,0386    |
| HIDROGENIO       | 1       | 2,009E-05 |
| GASOLINA/HIBRIDO | 2059    | 0,0414    |
| TOTAL            | 4978206 |           |

Exemplos de cálculo:

- Percentagem de veículos ligeiros a gasolina

$$\% \text{ veículos gasolina} = \frac{N.º \text{ veículos a gasolina}}{\text{Total de veículos ligeiros}} \times \frac{N.º \text{ Ligeiros passageiros}}{\text{Total de veículos}} \times 100$$

- Percentagem de veículos ligeiros a diesel

$$\% \text{ veículos diesel} = \frac{N.º \text{ veículos a diesel}}{\text{Total de veículos ligeiros}} \times \frac{N.º \text{ Ligeiros passageiros}}{\text{Total de veículos}} \times 100$$



(Os mesmos cálculos para as restantes categorias de veículos ligeiros, tendo-se agrupados os veículos ligeiros a GPL, GNC, Gas, Gasolina/GPL, Gasóleo/GPL e Gasolina GNC numa só categoria e os restantes considerados “Novas Tecnologias”)

- Percentagem de veículos pesados de mercadorias – Admite-se que todos os veículos pesados de mercadorias são a diesel.

$$\% \text{ veículos pesados mercadorias} = \frac{N.^\circ \text{ pesados mercadorias}}{\text{Total de veículos}} \times 100$$

- Percentagem de veículos pesados de passageiros – Admite-se que todos os veículos pesados de passageiros são a diesel.

$$\% \text{ veículos pesados passageiros} = \frac{N.^\circ \text{ pesados passageiros}}{\text{Total de veículos}} \times 100$$

- Percentagem de motociclos

$$\% \text{ motociclos} = \frac{N.^\circ \text{ motociclos}}{\text{Total de veículos}} \times 100$$

**ANEXO IV – PARQUE E DENSIDADE AUTOMÓVEL EM PORTUGAL A 31-12-2009: LIGEIOS DE PASSAGEIROS, VEÍCULOS COMERCIAIS E MOTOCICLOS (FONTE: ACAP, 2010).**

| Distritos        | Ligeiros de Passageiros e Todo-o-Terreno | Comerciais Ligeiros | Total Ligeiros   | Pesados de Mercadorias | Pesados de Passageiros | Total Veículos Automóveis | Ciclomotores e Motociclos até 50cc | Motociclos (**) | Quadríciclos (***) | Habitantes por:     |                       |
|------------------|--|---------------------|------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
|                  |  |                     |                  |                        |                        |                           |                                    |                 |                    | Ligeiro Passageiros | Veículo Automóvel (*) |
| Aveiro           | 321 991                                  | 92 526              | 414 517          | 11 503                 | 610                    | 426 630                   | 48 485                             | 14 081          | 2 259              | 2,3                 | 1,7                   |
| Beja             | 60 441                                   | 25 229              | 85 670           | 1 524                  | 132                    | 87 325                    | 6 422                              | 3 195           | 827                | 2,6                 | 1,8                   |
| Braga            | 348 199                                  | 101 253             | 449 452          | 9 337                  | 1 251                  | 460 039                   | 27 611                             | 12 838          | 1 749              | 2,5                 | 1,9                   |
| Bragança         | 54 103                                   | 28 804              | 82 907           | 2 029                  | 150                    | 85 086                    | 3 392                              | 3 158           | 792                | 2,7                 | 1,7                   |
| Castelo Branco   | 79 813                                   | 32 654              | 112 467          | 2 780                  | 424                    | 115 671                   | 5 714                              | 3 416           | 876                | 2,5                 | 1,7                   |
| Coimbra          | 193 703                                  | 55 723              | 249 425          | 5 703                  | 827                    | 255 955                   | 26 200                             | 11 789          | 1 873              | 2,3                 | 1,7                   |
| Évora            | 70 904                                   | 24 026              | 94 930           | 2 116                  | 116                    | 97 162                    | 6 620                              | 3 121           | 620                | 2,4                 | 1,8                   |
| Faro             | 202 659                                  | 68 336              | 270 996          | 4 991                  | 473                    | 276 459                   | 21 373                             | 11 090          | 1 654              | 2,1                 | 1,6                   |
| Guarda           | 72 832                                   | 25 588              | 98 420           | 2 934                  | 261                    | 101 614                   | 5 308                              | 3 665           | 954                | 2,4                 | 1,7                   |
| Leiria           | 225 691                                  | 71 799              | 297 490          | 11 331                 | 328                    | 309 149                   | 21 858                             | 11 024          | 1 742              | 2,2                 | 1,6                   |
| Lisboa           | 985 881                                  | 190 618             | 1 176 499        | 26 530                 | 2 536                  | 1 205 566                 | 25 434                             | 42 414          | 4 533              | 2,3                 | 1,9                   |
| Portalegre       | 48 445                                   | 18 489              | 66 934           | 1 750                  | 108                    | 68 792                    | 4 965                              | 2 277           | 778                | 2,5                 | 1,7                   |
| Porto            | 729 032                                  | 161 358             | 890 390          | 17 205                 | 3 343                  | 910 938                   | 51 585                             | 25 481          | 3 086              | 2,5                 | 2,0                   |
| Santarém         | 200 742                                  | 73 912              | 274 654          | 8 417                  | 819                    | 283 890                   | 22 595                             | 10 459          | 1 855              | 2,4                 | 1,7                   |
| Setúbal          | 337 901                                  | 68 518              | 406 419          | 7 215                  | 1 484                  | 415 117                   | 12 421                             | 14 719          | 2 129              | 2,6                 | 2,1                   |
| Viana do Castelo | 106 371                                  | 26 190              | 132 561          | 3 141                  | 588                    | 136 291                   | 10 260                             | 5 598           | 1 070              | 2,4                 | 1,9                   |
| Vila Real        | 86 733                                   | 31 604              | 118 337          | 2 530                  | 491                    | 121 357                   | 5 687                              | 3 871           | 1 017              | 2,5                 | 1,8                   |
| Viseu            | 160 269                                  | 56 965              | 217 234          | 6 847                  | 653                    | 224 734                   | 19 790                             | 7 406           | 1 471              | 2,5                 | 1,8                   |
| Continente       | 4 285 710                                | 1 153 591           | 5 439 301        | 127 881                | 14 594                 | 5 581 775                 | 325 719                            | 189 601         | 29 282             | 2,4                 | 1,8                   |
| Açores           | 74 795                                   | 27 847              | 102 642          | 2 598                  | 469                    | 105 709                   | 4 871                              | 4 769           | 1 450              | 3,3                 | 2,3                   |
| Madeira          | 96 496                                   | 22 562              | 119 057          | 2 521                  | 437                    | 122 016                   | 3 411                              | 4 900           | 498                | 2,6                 | 2,1                   |
| <b>Total</b>     | <b>4 457 000</b>                         | <b>1 204 000</b>    | <b>5 661 000</b> | <b>133 000</b>         | <b>15 500</b>          | <b>5 809 500</b>          | <b>334 000</b>                     | <b>199 270</b>  | <b>31 230</b>      | <b>2,4</b>          | <b>1,9</b>            |

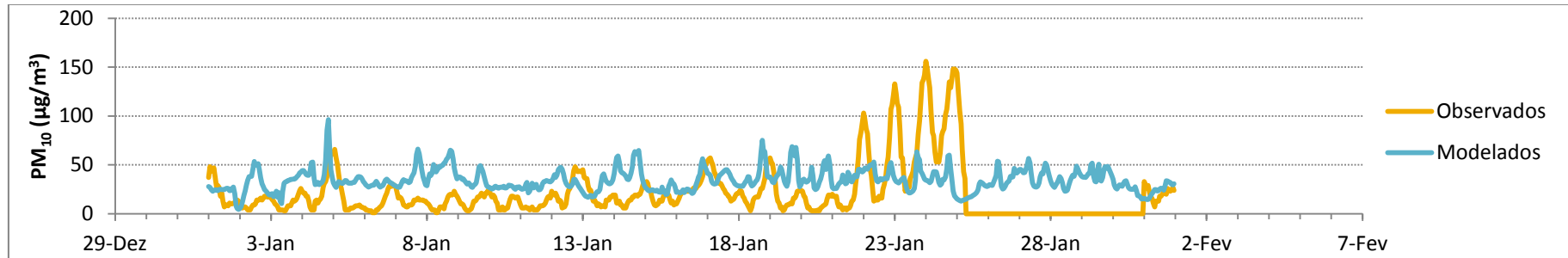
## ANEXO V – DISTRIBUIÇÃO DAS EMISSÕES POR DISTRITO E POR POLUENTE PARA OS TRÊS CENÁRIOS.

|                  | CO (kton) |         |        | CO2 (kton) |          |          | NOx (kton) |         |        |
|------------------|-----------|---------|--------|------------|----------|----------|------------|---------|--------|
| Distrito         | 2020B20   | 2020B10 | Ref    | 2020B20    | 2020B10  | Ref      | 2020B20    | 2020B10 | Ref    |
| Aveiro           | 3,158     | 3,225   | 3,514  | 310,254    | 311,104  | 316,537  | 1,485      | 1,482   | 1,659  |
| Braga            | 13,051    | 13,325  | 14,692 | 1300,896   | 1304,462 | 1323,656 | 6,209      | 6,196   | 6,935  |
| Bragança         | 1,761     | 1,798   | 2,000  | 177,551    | 178,037  | 180,137  | 0,851      | 0,849   | 0,944  |
| Guarda           | 0,113     | 0,116   | 0,129  | 11,403     | 11,434   | 11,594   | 0,054      | 0,054   | 0,061  |
| Porto            | 37,583    | 38,373  | 41,679 | 3629,342   | 3639,291 | 3707,613 | 17,594     | 17,557  | 19,649 |
| Viana do Castelo | 2,728     | 2,785   | 3,052  | 269,866    | 270,606  | 274,989  | 1,290      | 1,287   | 1,441  |
| Vila Real        | 2,595     | 2,650   | 2,927  | 259,241    | 259,952  | 263,739  | 1,241      | 1,238   | 1,382  |
| Viseu            | 1,206     | 1,231   | 1,347  | 119,410    | 119,738  | 121,339  | 0,578      | 0,577   | 0,636  |
| TOTAL            | 62,196    | 63,504  | 69,339 | 6077,963   | 6094,624 | 6199,604 | 29,302     | 29,240  | 32,706 |

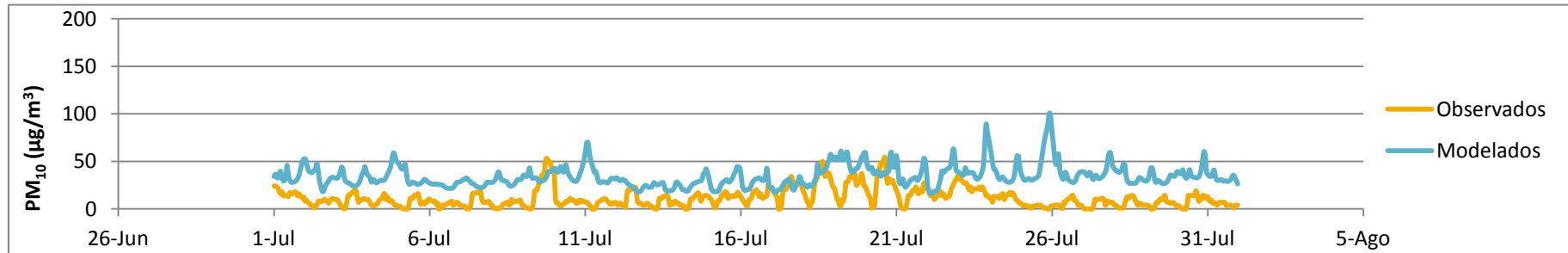
|                  | PM (kton) |         |       | SO2 (kton) |         |       | COV (kton) |         |       |
|------------------|-----------|---------|-------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|
| Distrito         | 2020B20   | 2020B10 | Ref   | 2020B20    | 2020B10 | Ref   | 2020B20    | 2020B10 | Ref   |
| Aveiro           | 0,080     | 0,082   | 0,108 | 0,038      | 0,038   | 0,062 | 0,405      | 0,419   | 0,490 |
| Braga            | 0,324     | 0,334   | 0,452 | 0,161      | 0,161   | 0,258 | 1,684      | 1,746   | 2,049 |
| Bragança         | 0,044     | 0,045   | 0,062 | 0,023      | 0,023   | 0,035 | 0,231      | 0,239   | 0,279 |
| Guarda           | 0,003     | 0,003   | 0,004 | 0,001      | 0,001   | 0,002 | 0,015      | 0,015   | 0,018 |
| Porto            | 0,952     | 0,981   | 1,282 | 0,521      | 0,521   | 0,862 | 4,819      | 4,997   | 5,831 |
| Viana do Castelo | 0,068     | 0,070   | 0,094 | 0,033      | 0,033   | 0,054 | 0,350      | 0,363   | 0,426 |
| Vila Real        | 0,065     | 0,067   | 0,090 | 0,032      | 0,032   | 0,051 | 0,336      | 0,349   | 0,408 |
| Viseu            | 0,031     | 0,032   | 0,041 | 0,016      | 0,016   | 0,024 | 0,157      | 0,163   | 0,188 |
| TOTAL            | 1,566     | 1,613   | 2,133 | 0,825      | 0,825   | 1,348 | 7,997      | 8,291   | 9,688 |

## ANEXO VI – SÉRIES TEMPORAIS DAS CONCENTRAÇÕES DE PM<sub>10</sub> OBSERVADAS E MODELADAS PELO TAPM.

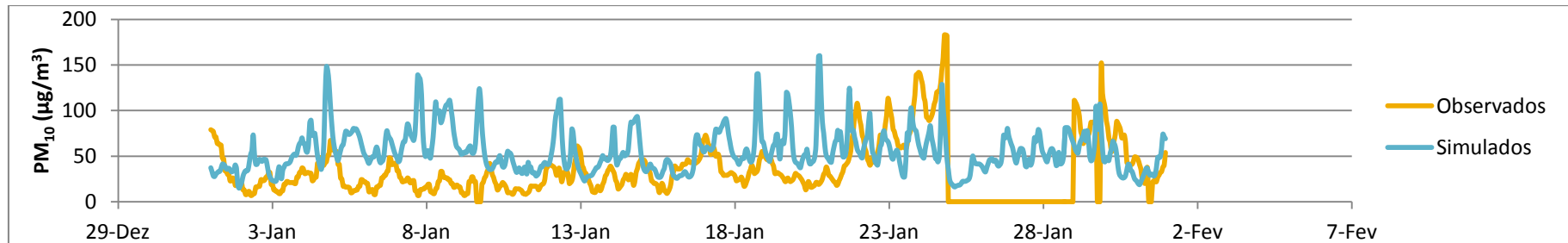
Centro de Lacticínios - Janeiro



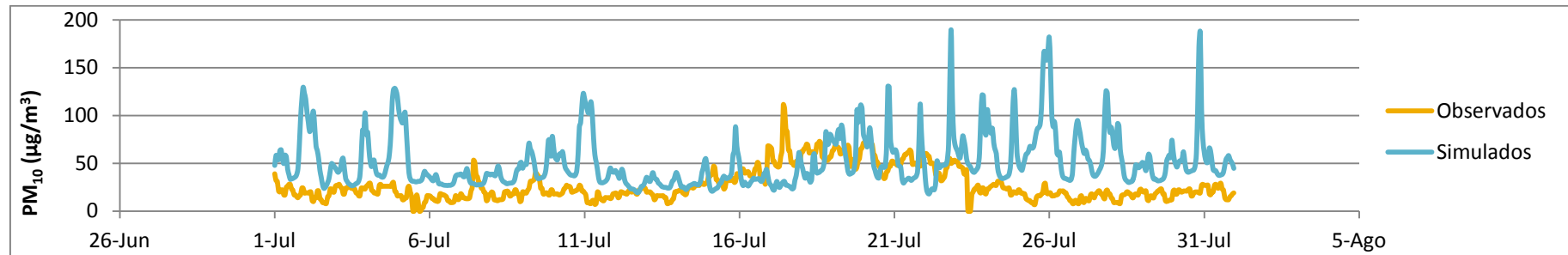
Centro de Lacticínios - Julho



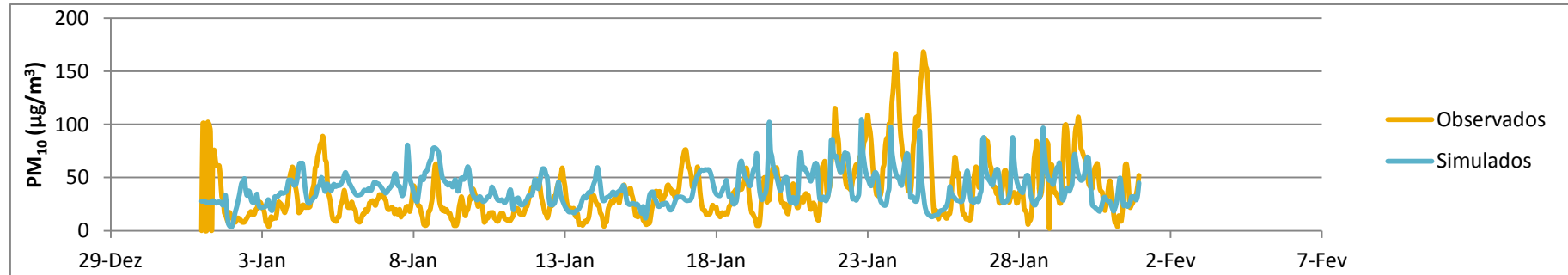
Ermesinde – Janeiro



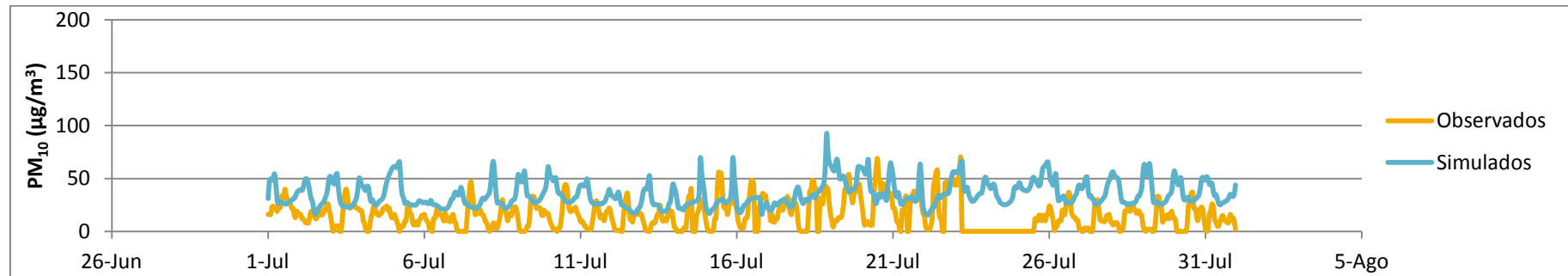
Ermesinde – Julho



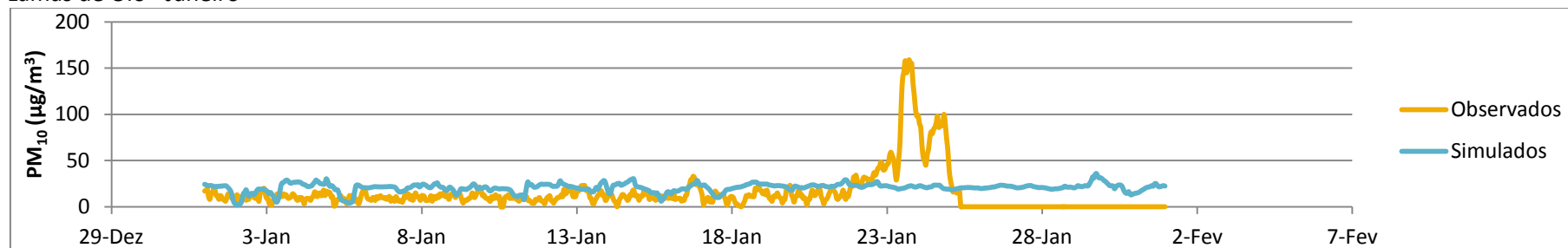
Horto – Janeiro



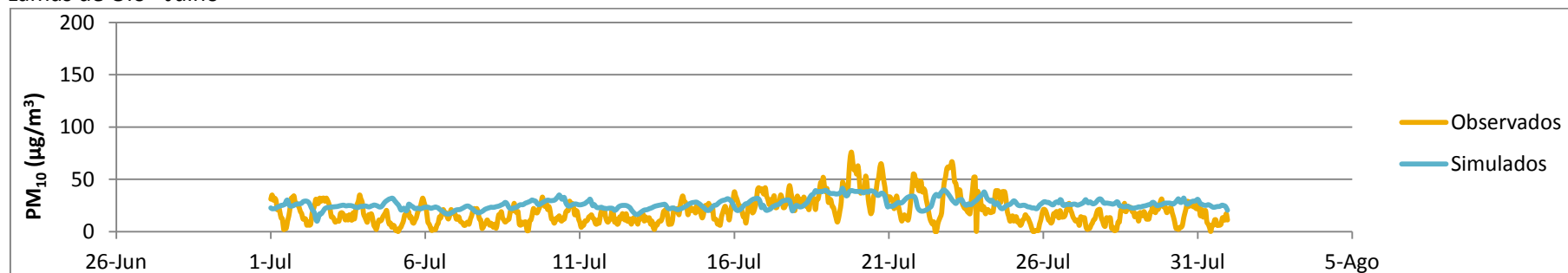
Horto - Julho



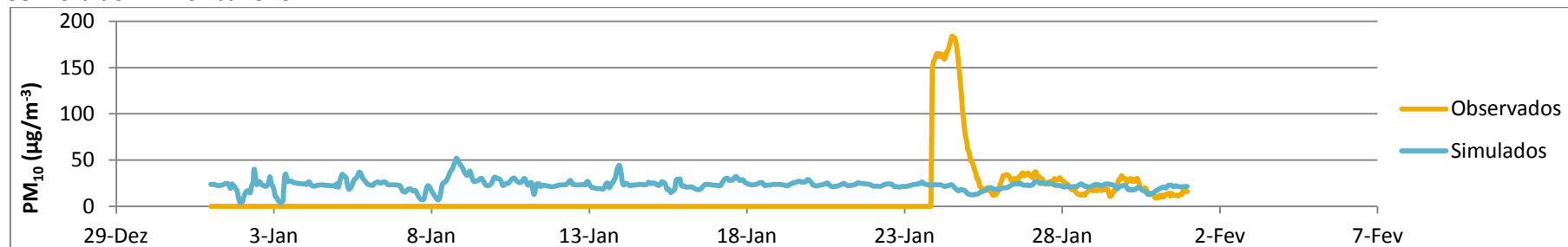
Lamas de Olo - Janeiro



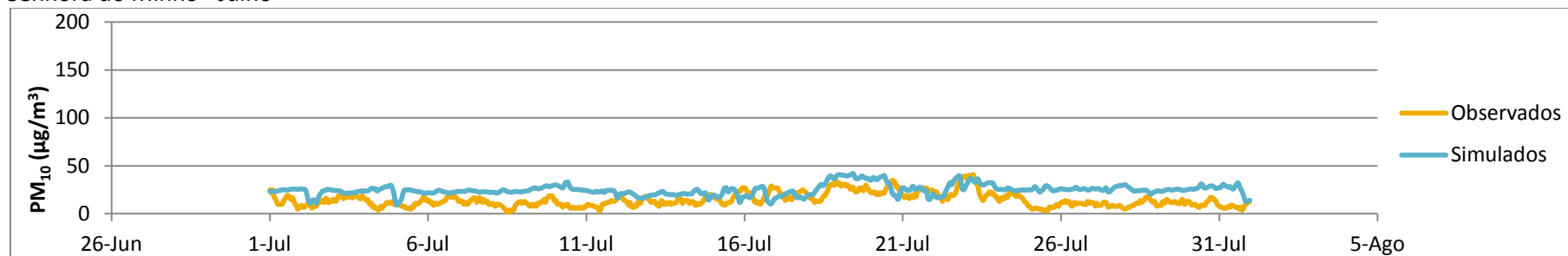
Lamas de Olo - Julho



Senhora do Minho - Janeiro

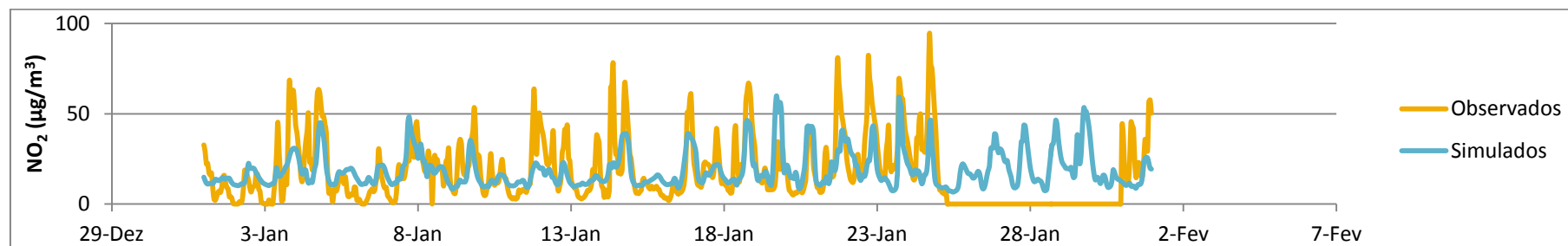


Senhora do Minho - Julho

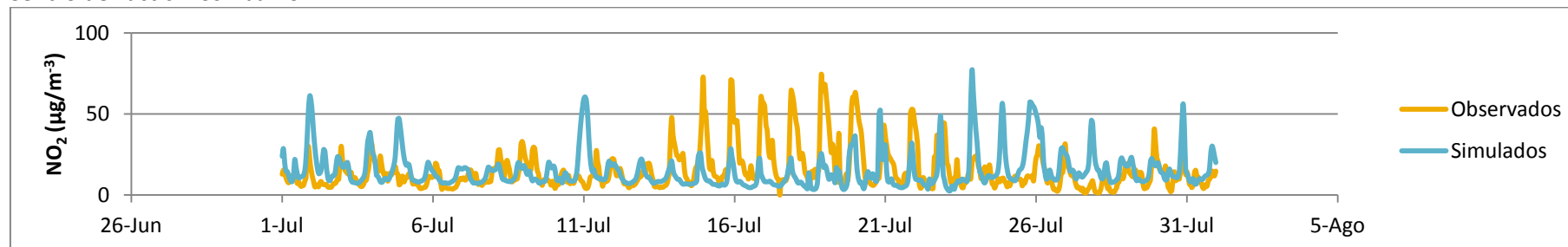


## ANEXO VII – SÉRIES TEMPORAIS DAS CONCENTRAÇÕES DE $\text{NO}_2$ OBSERVADAS E MODELADAS PELO TAPM.

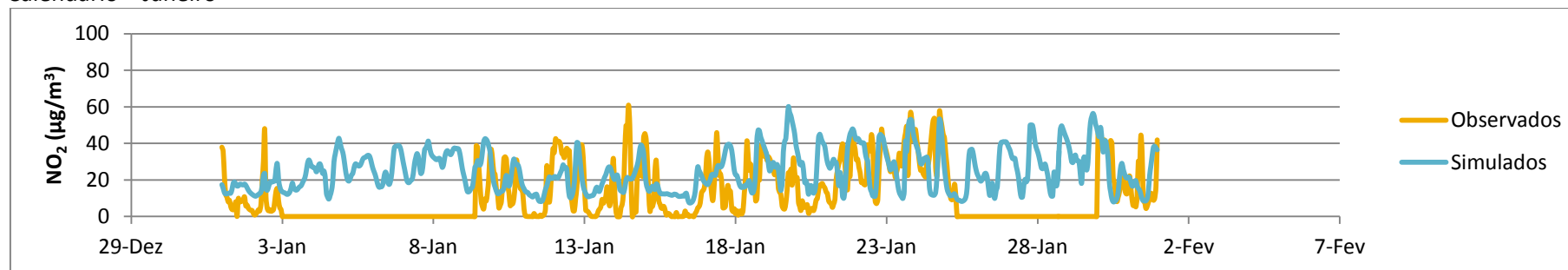
Centro de Lacticínios – Janeiro



Centro de Lacticínios – Julho

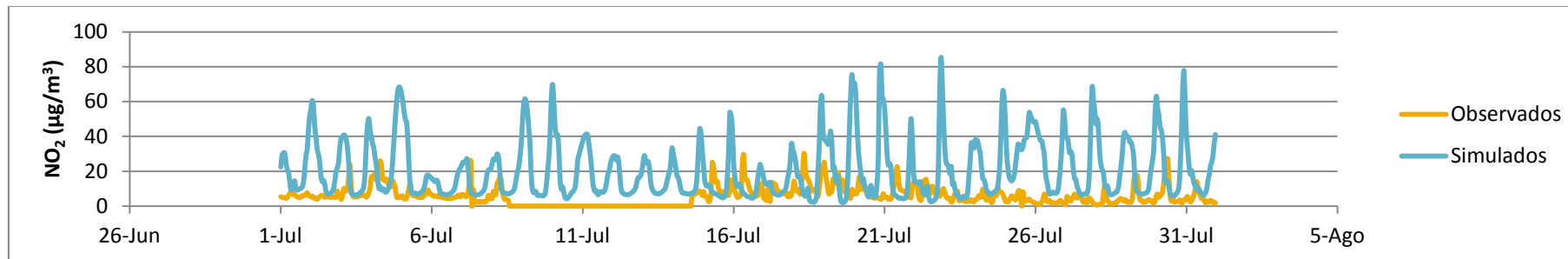


Calendário – Janeiro

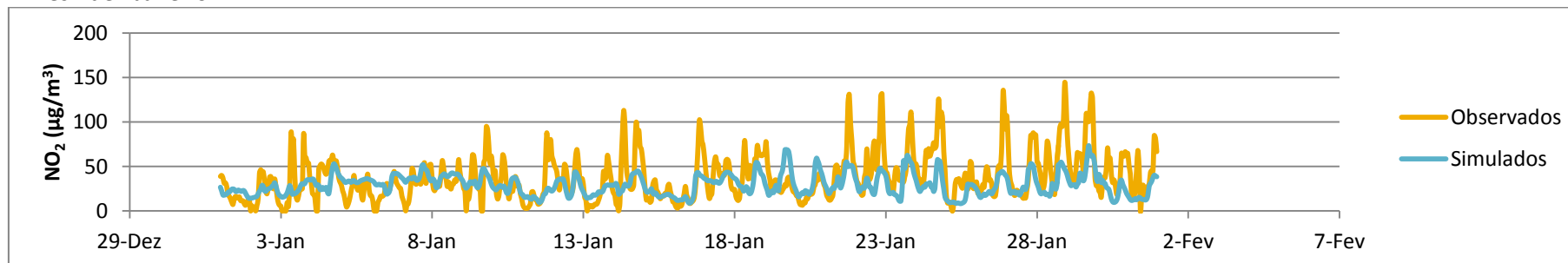




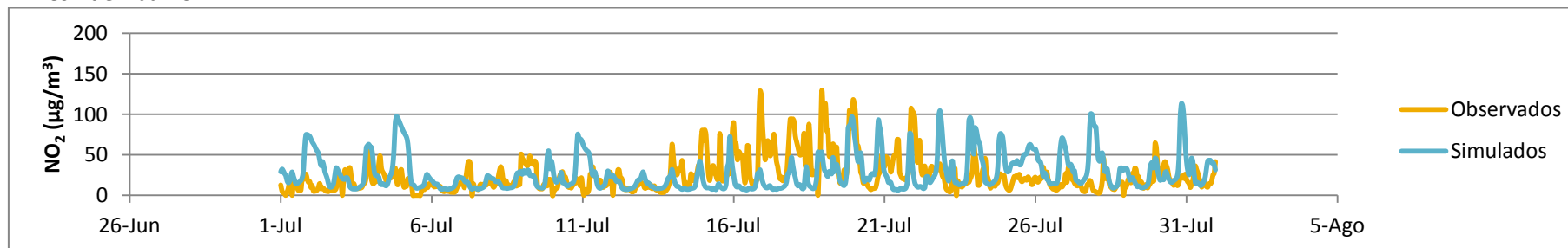
Calendário – Julho



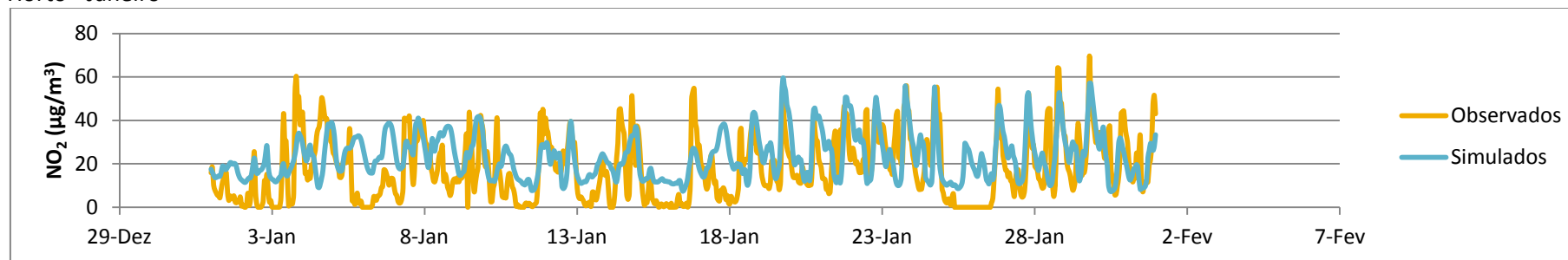
Ermesinde - Janeiro



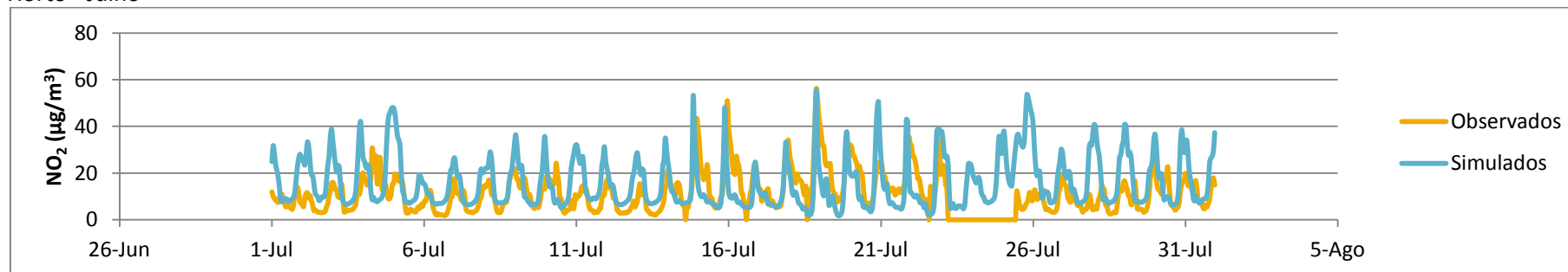
Ermesinde – Julho



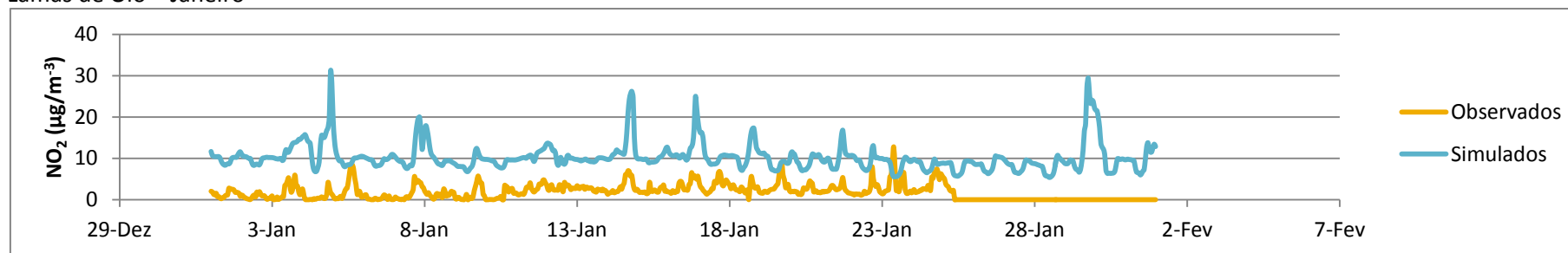
Horto - Janeiro



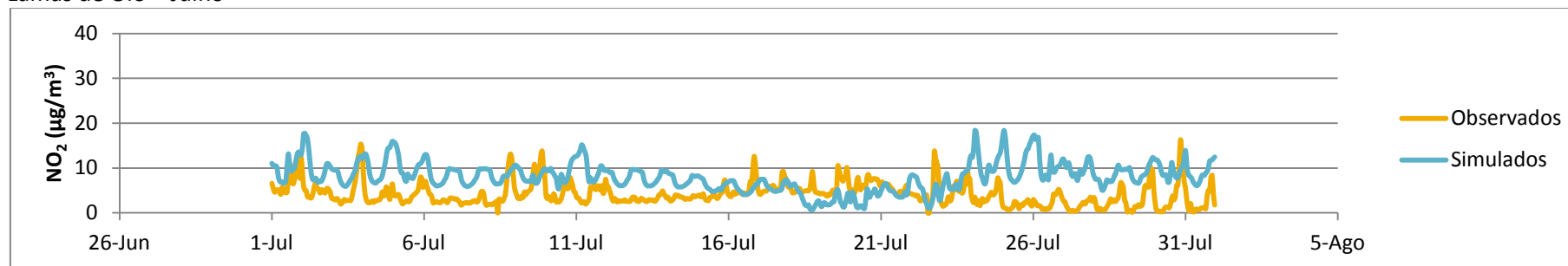
Horto - Julho



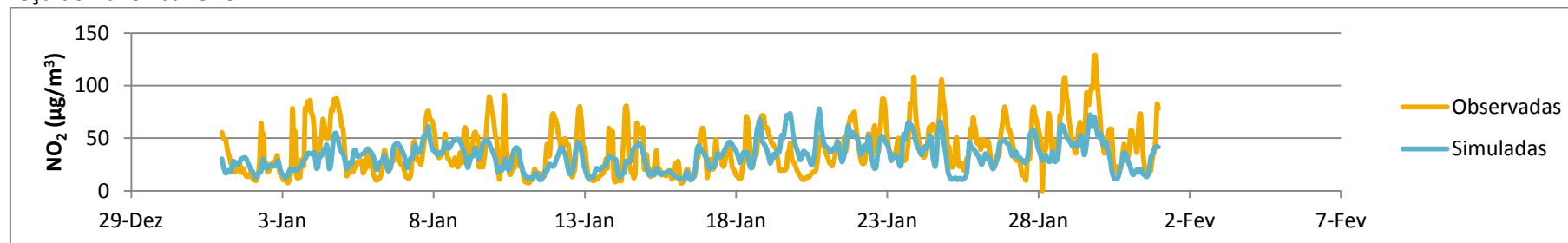
Lamas de Olo – Janeiro



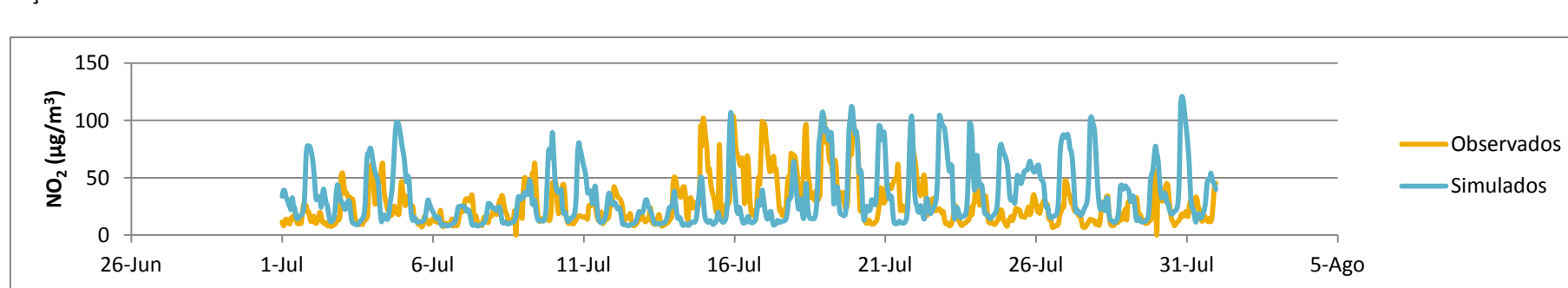
Lamas de Olo – Julho



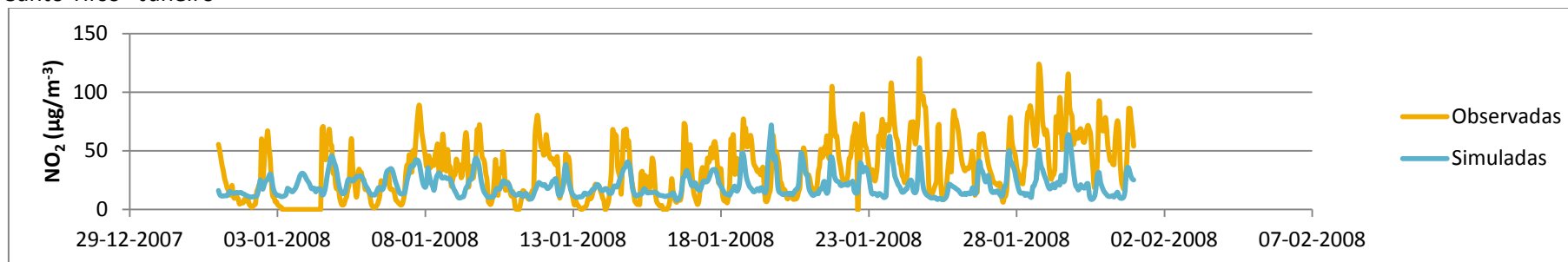
Leça do Balio - Janeiro



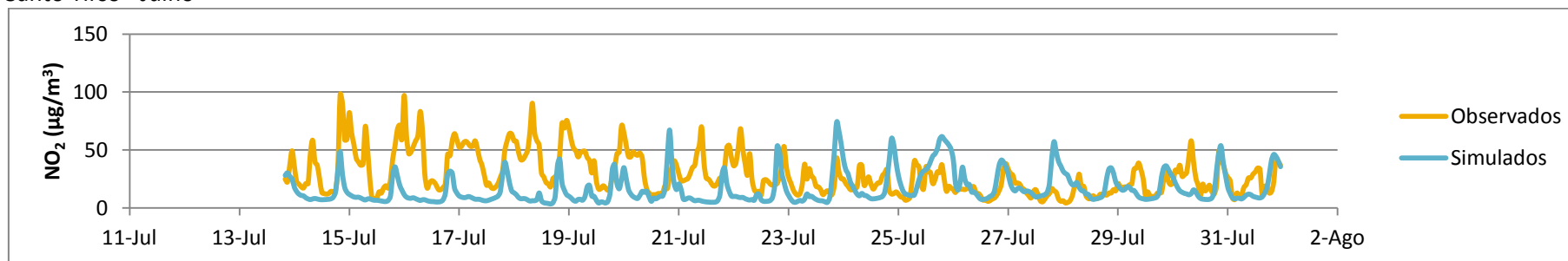
Leça do Balio - Julho



Santo Tirso - Janeiro

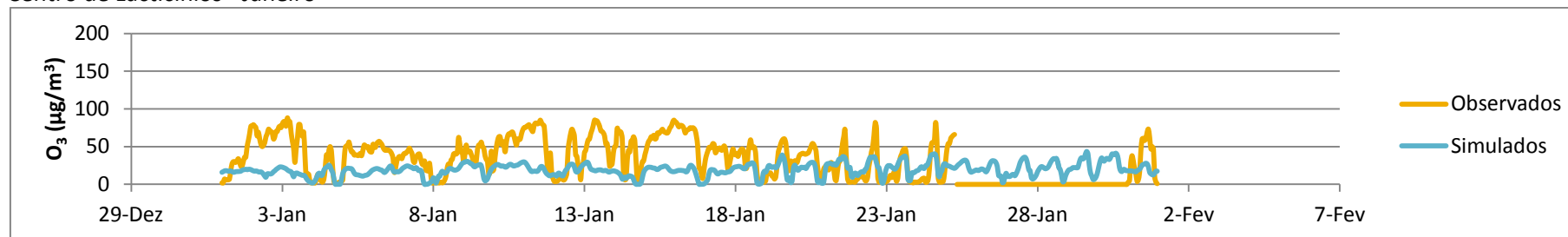


Santo Tirso - Julho

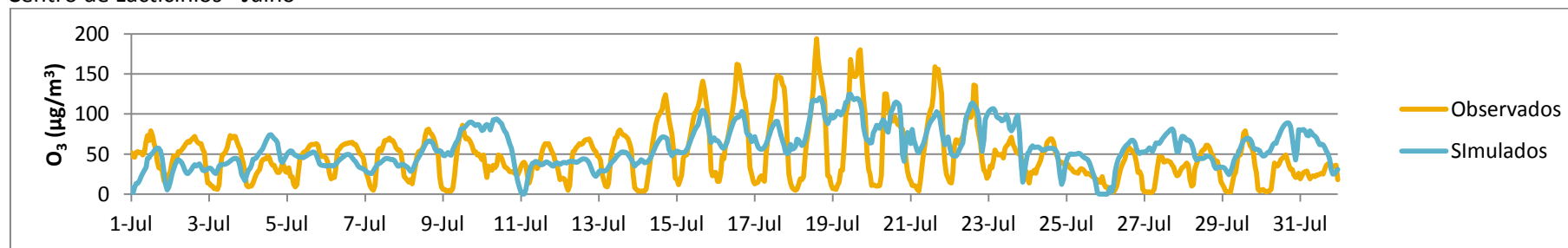


## ANEXO VIII – SÉRIES TEMPORAIS DAS CONCENTRAÇÕES DE $O_3$ OBSERVADAS E MODELADAS PELO TAPM.

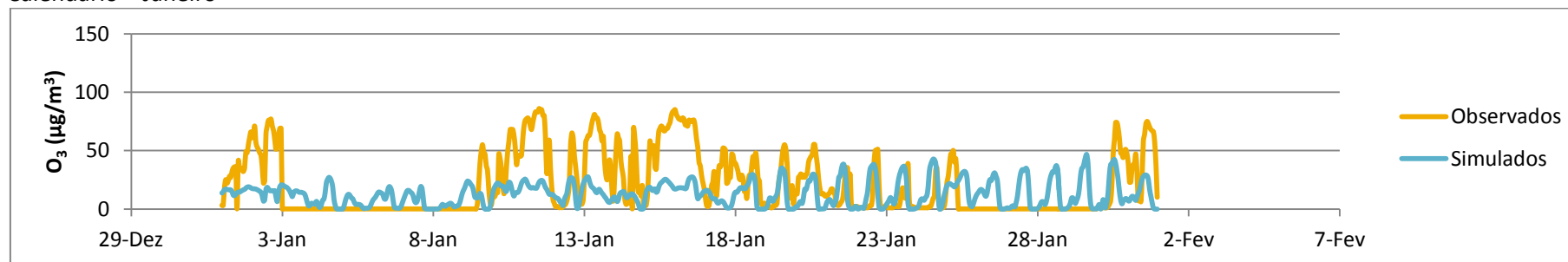
Centro de Laticínios - Janeiro



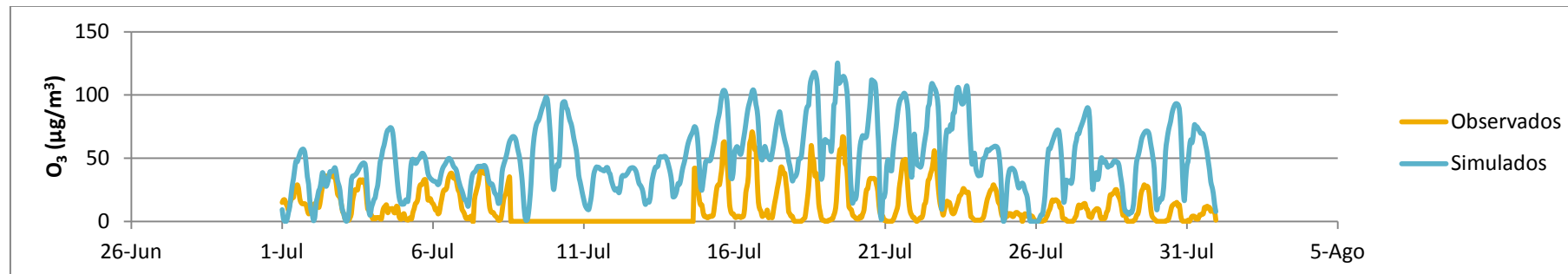
Centro de Laticínios - Julho



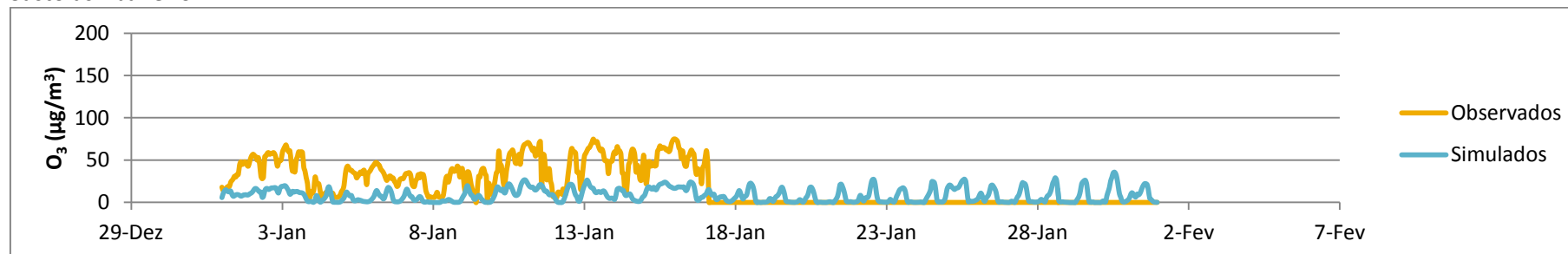
Calendário – Janeiro



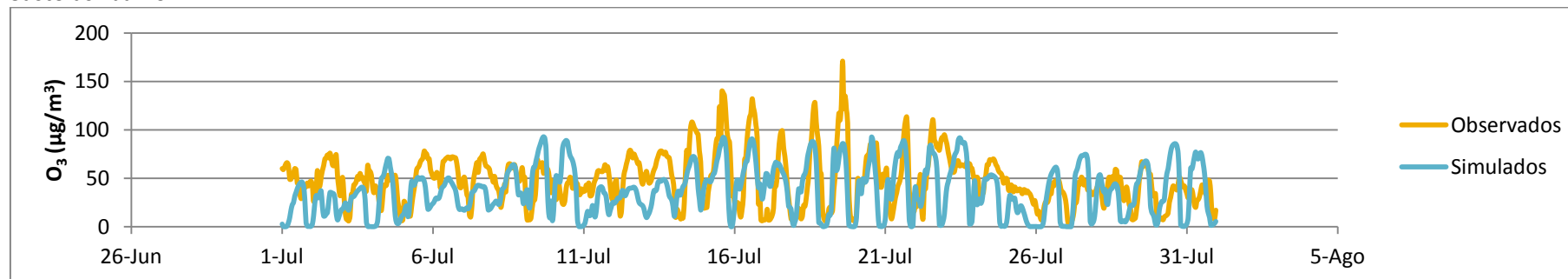
Calendário – Julho



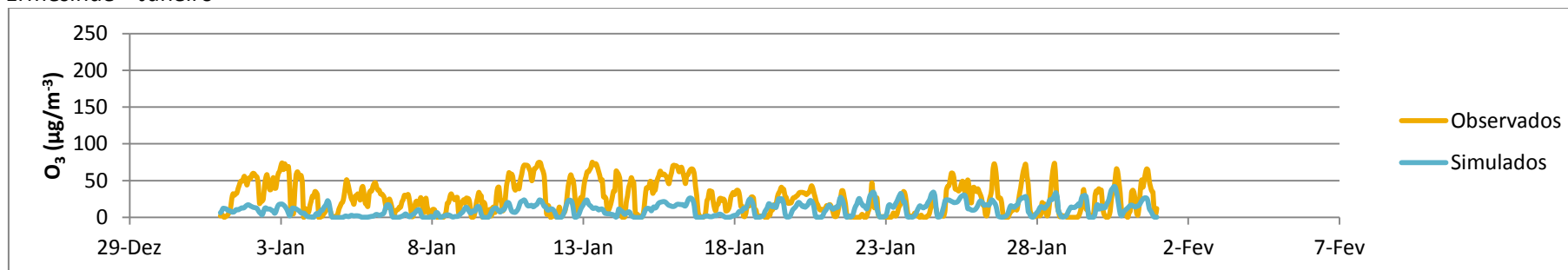
Custóias – Janeiro



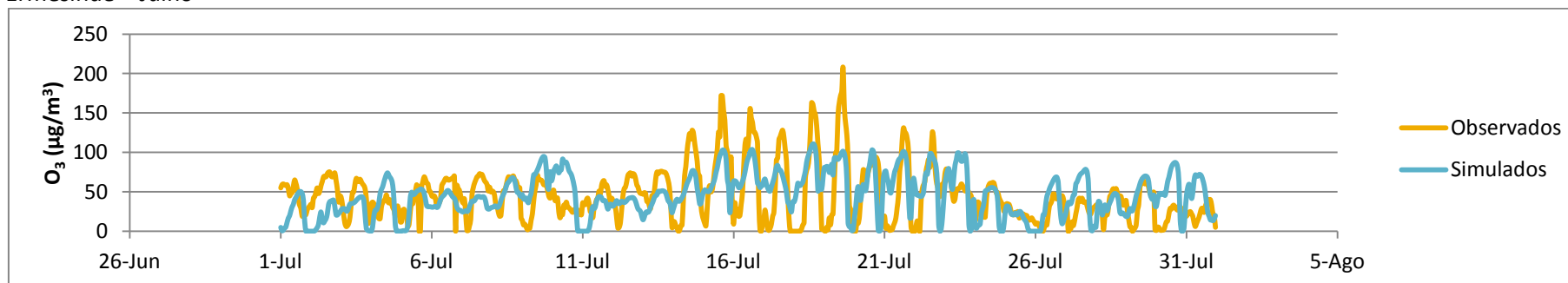
Custóias - Julho



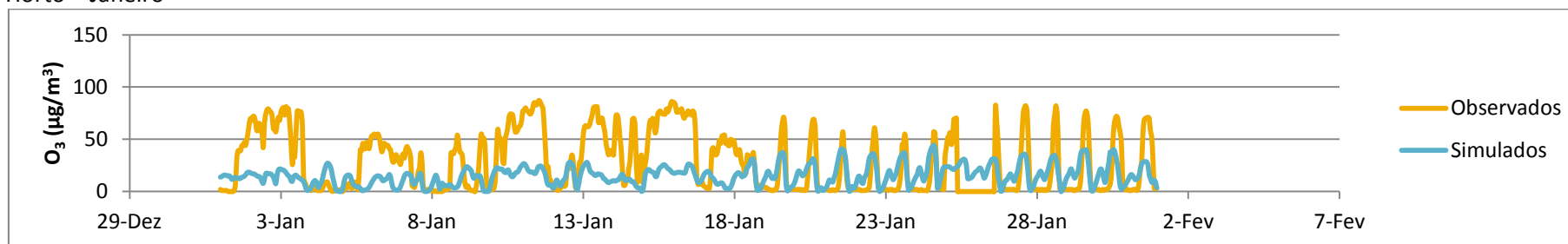
Ermesinde – Janeiro



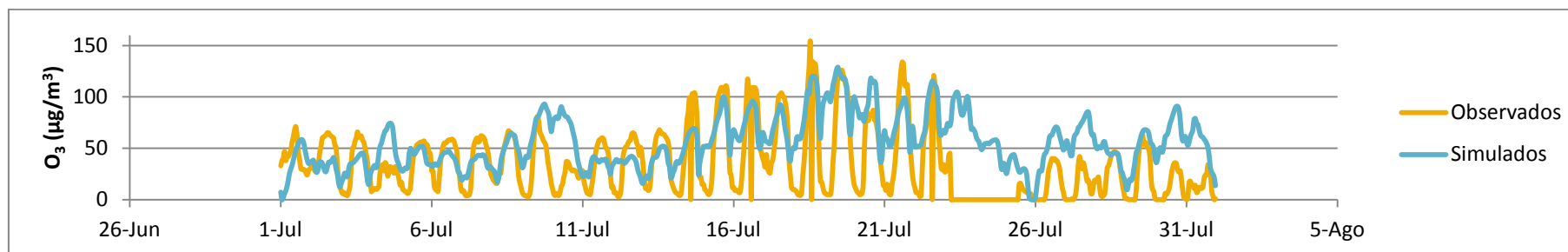
Ermesinde – Julho



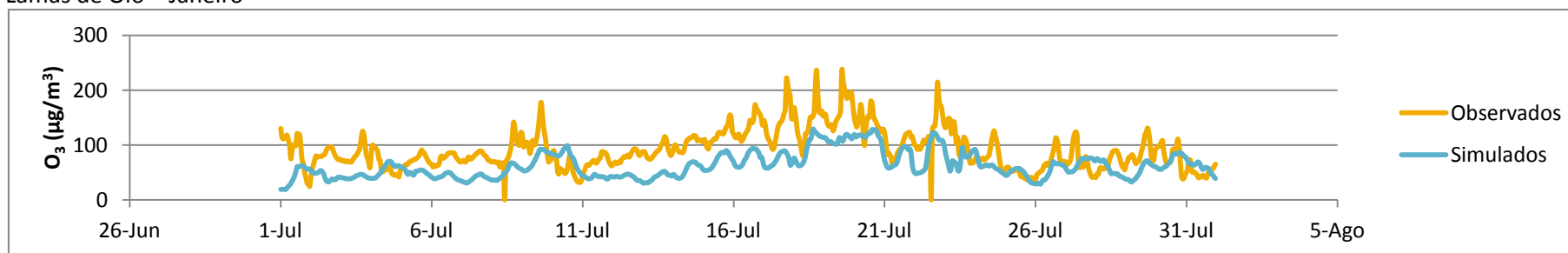
Horto – Janeiro



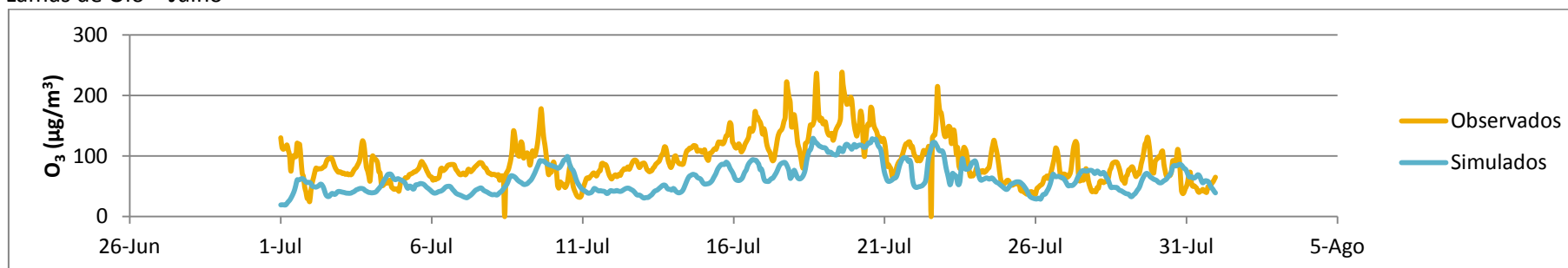
Horto - Julho



Lamas de Olo – Janeiro

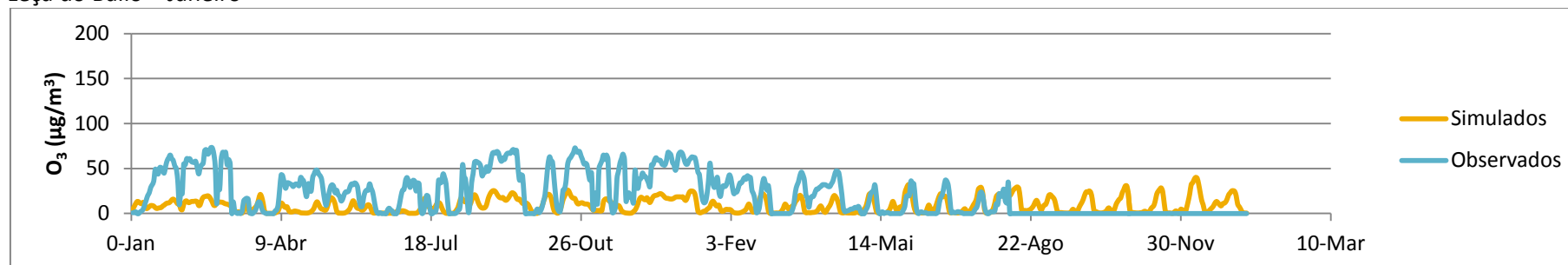


Lamas de Olo – Julho

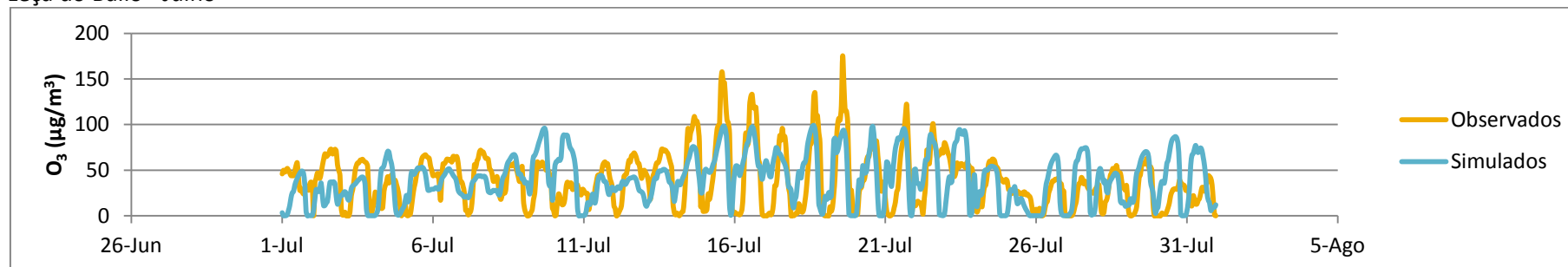




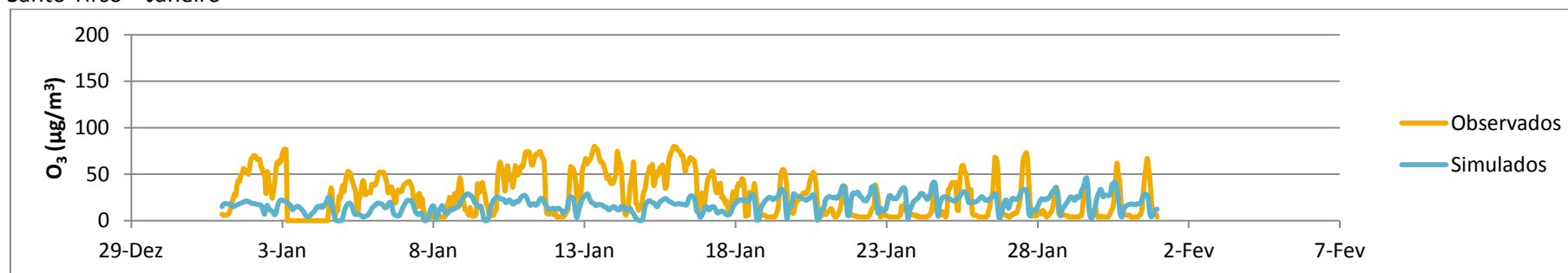
Leça do Balio – Janeiro



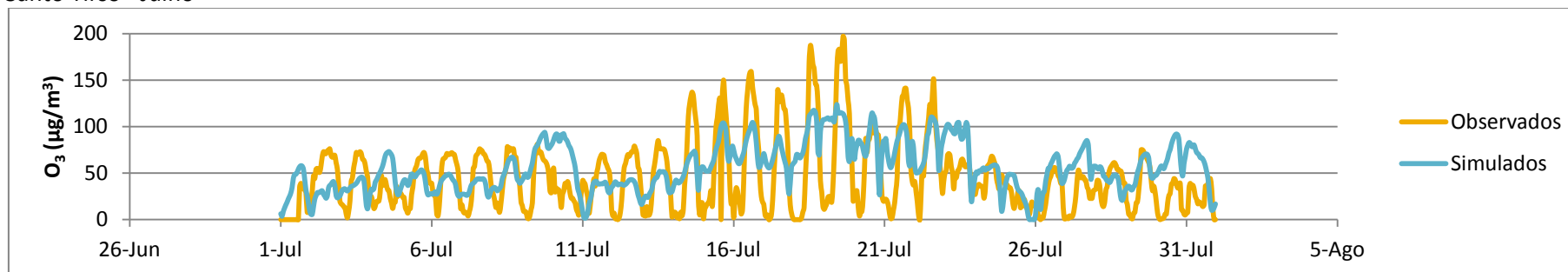
Leça do Balio - Julho



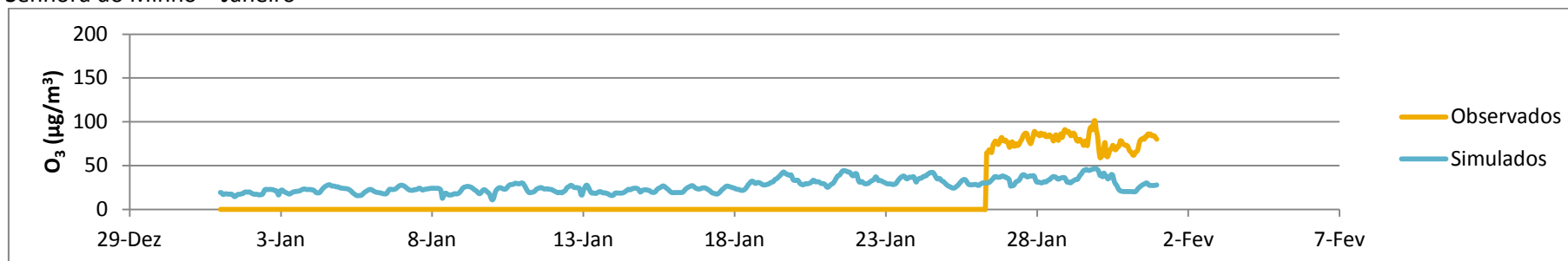
Santo Tirso – Janeiro



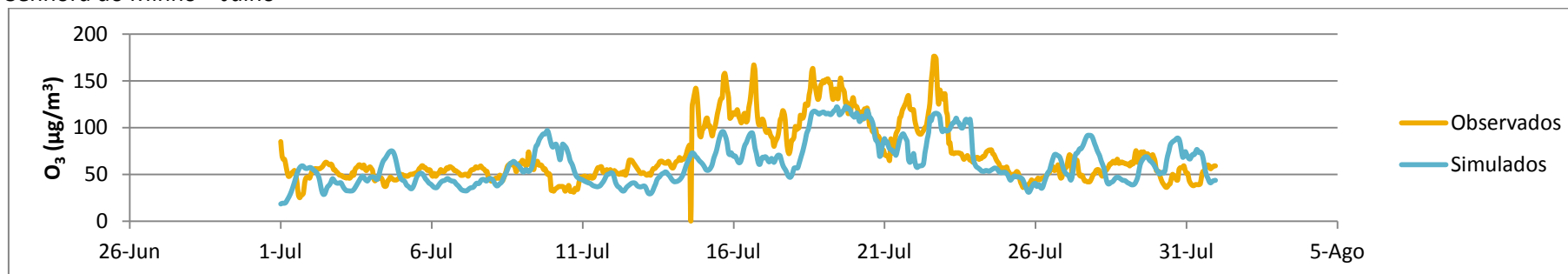
Santo Tirso - Julho



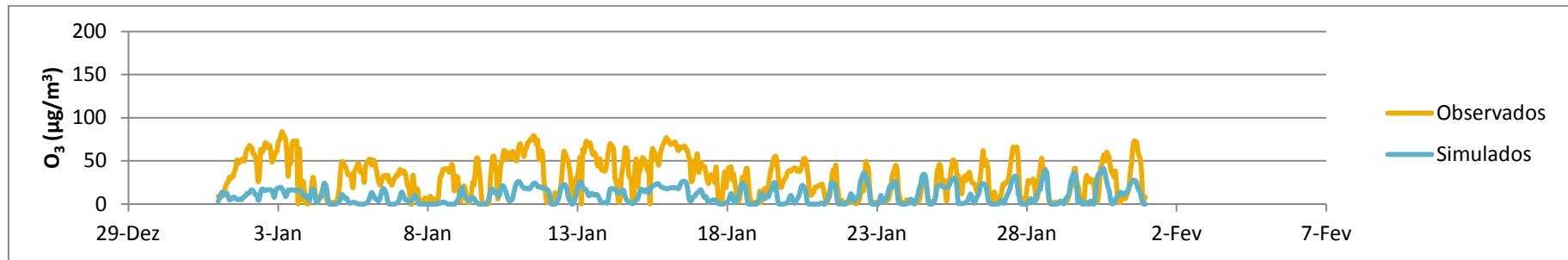
Senhora do Minho – Janeiro



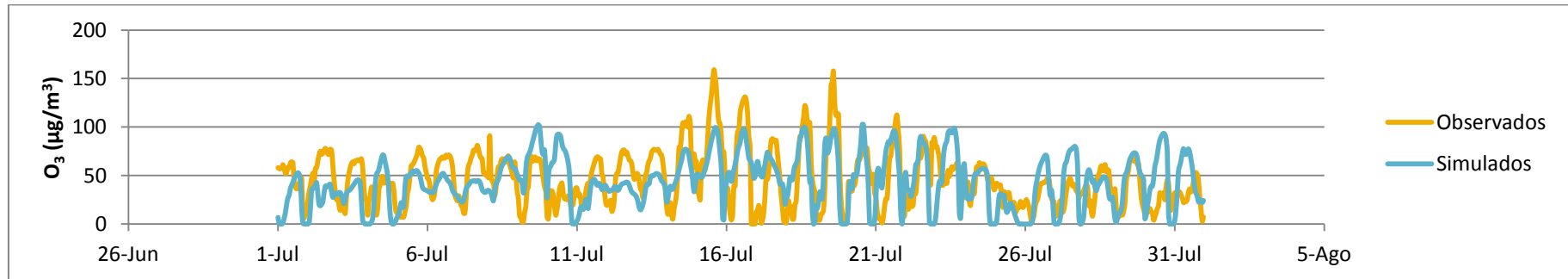
Senhora do Minho – Julho



Vila Nova da Telha – Janeiro

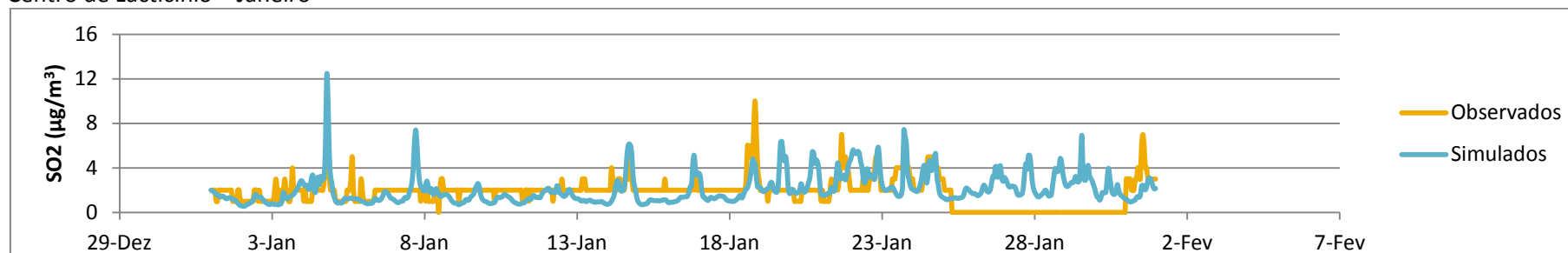


Vila Nova da Telha - Julho

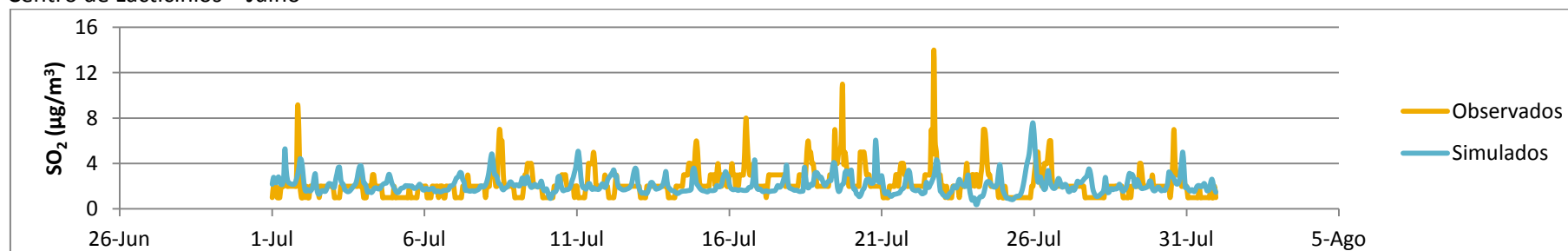


## ANEXO IX – SÉRIES TEMPORAIS DAS CONCENTRAÇÕES DE SO<sub>2</sub> OBSERVADAS E MODELADAS PELO TAPM

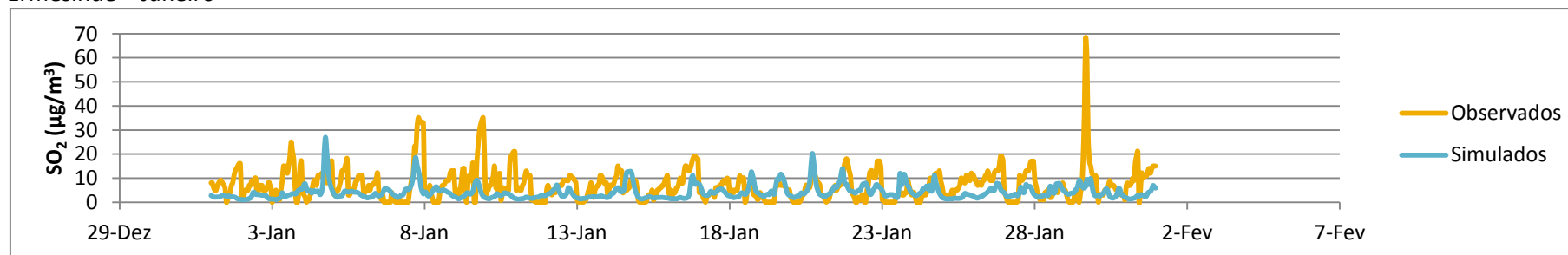
Centro de Lactício – Janeiro



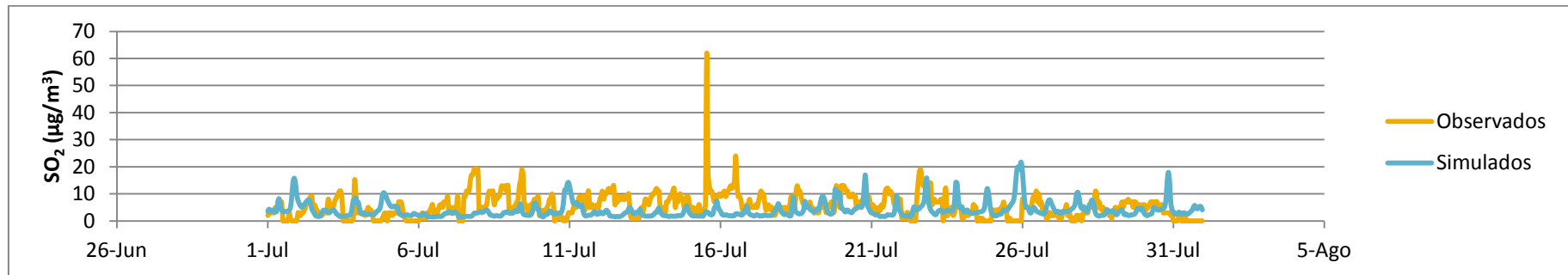
Centro de Lactícios – Julho



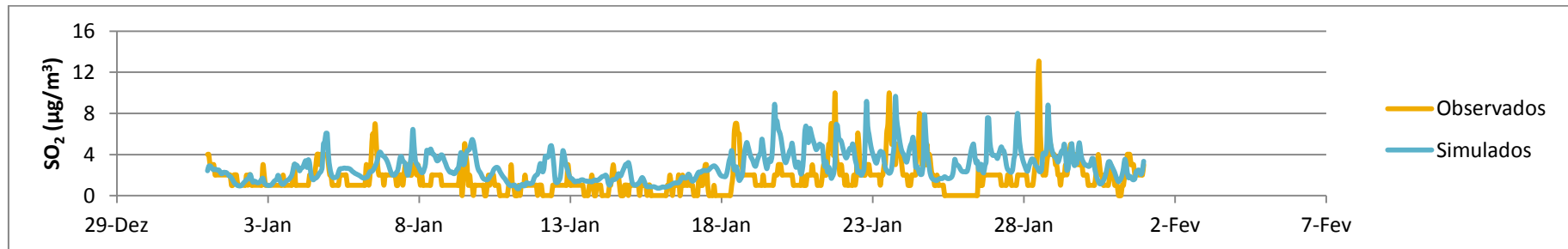
Ermesinde – Janeiro



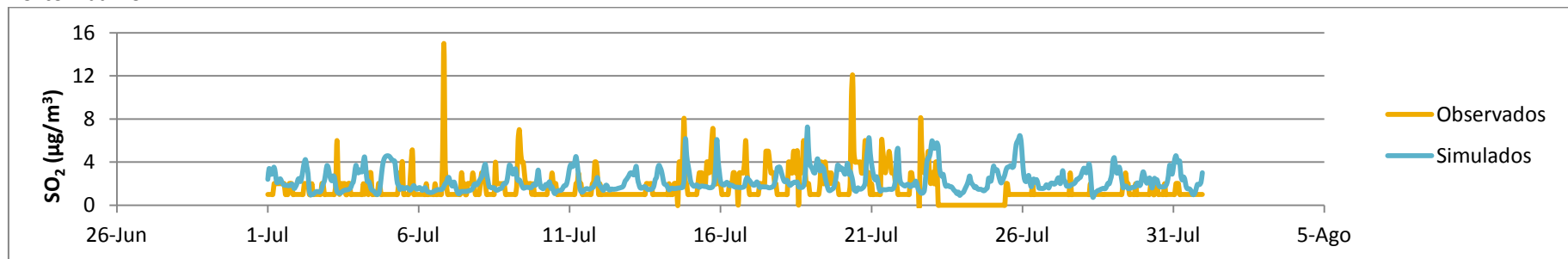
Ermesinde Julho



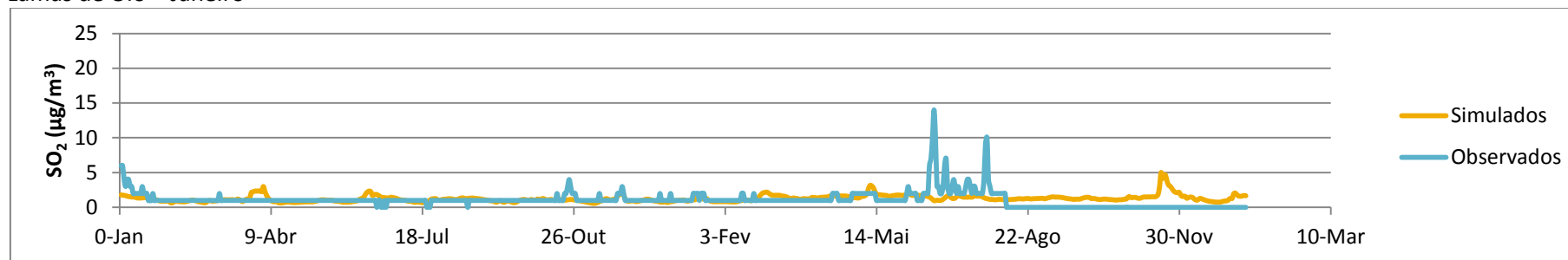
Horto – Janeiro



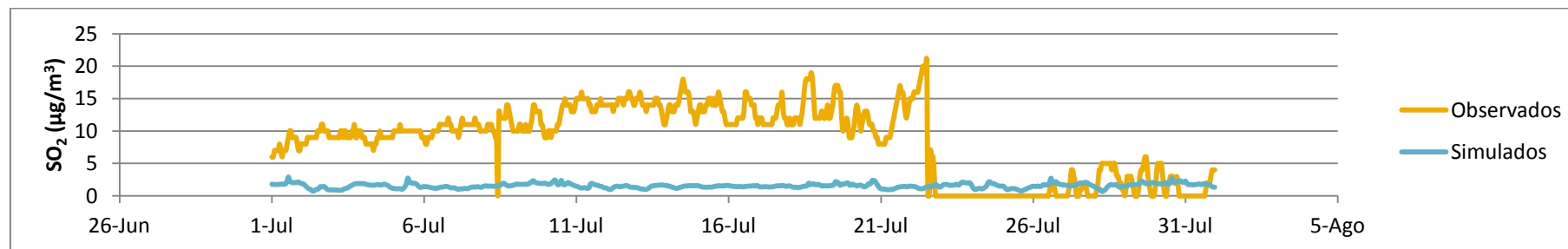
Horto – Julho



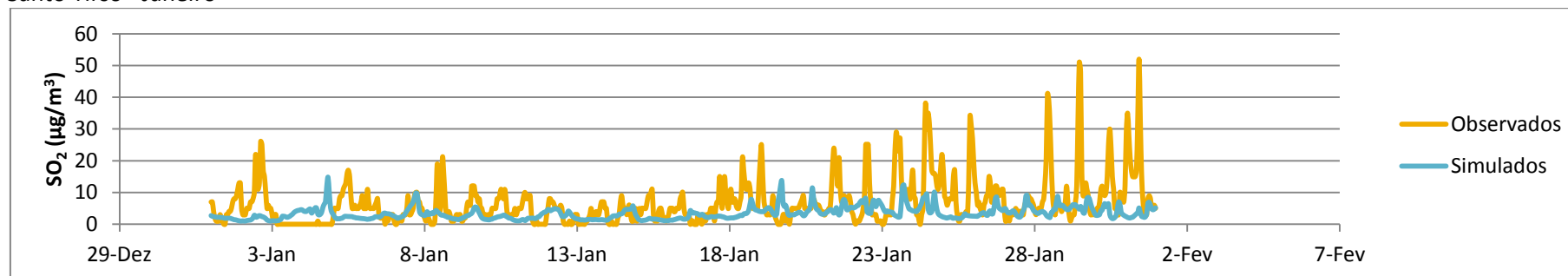
Lamas de Olo – Janeiro



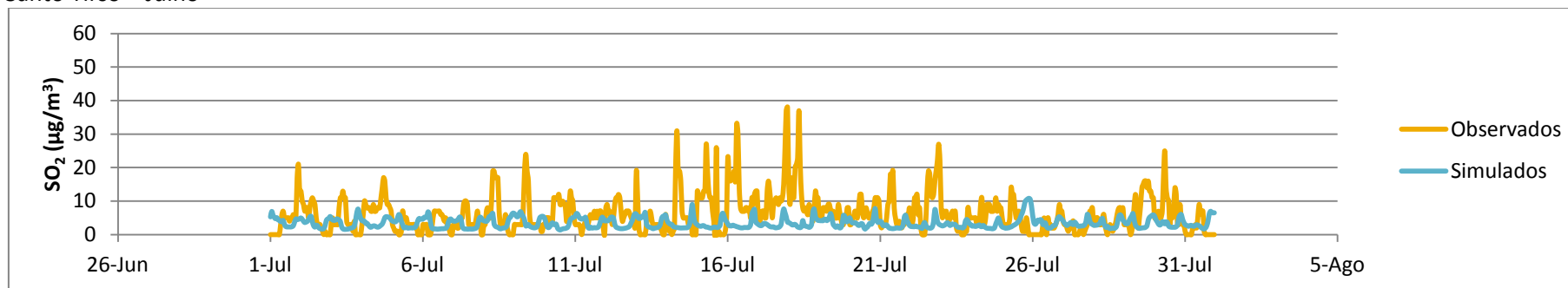
Lamas de Olo - Julho



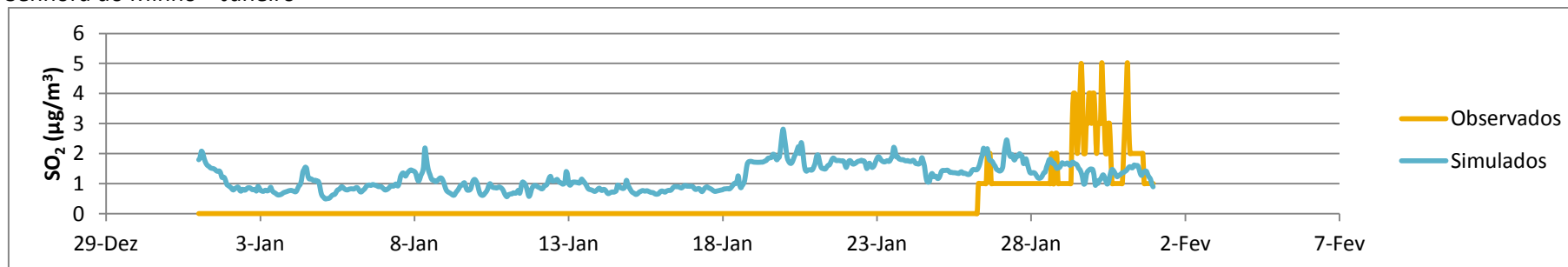
Santo Tirso - Janeiro



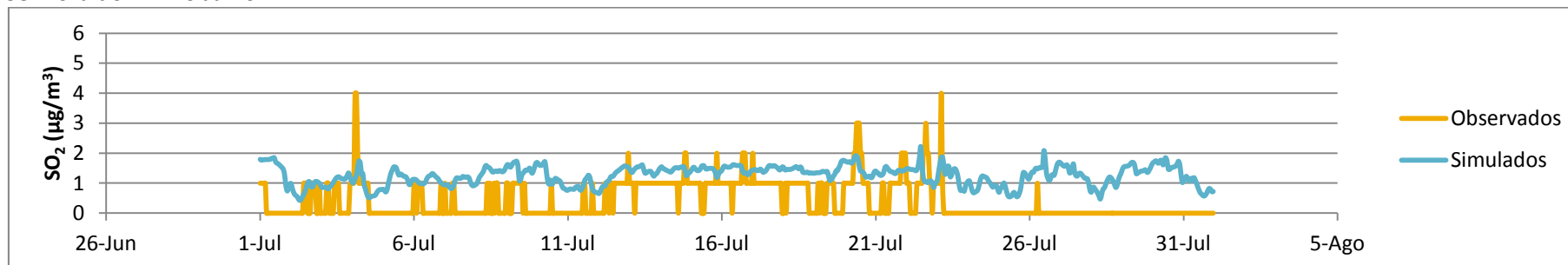
Santo Tirso – Julho



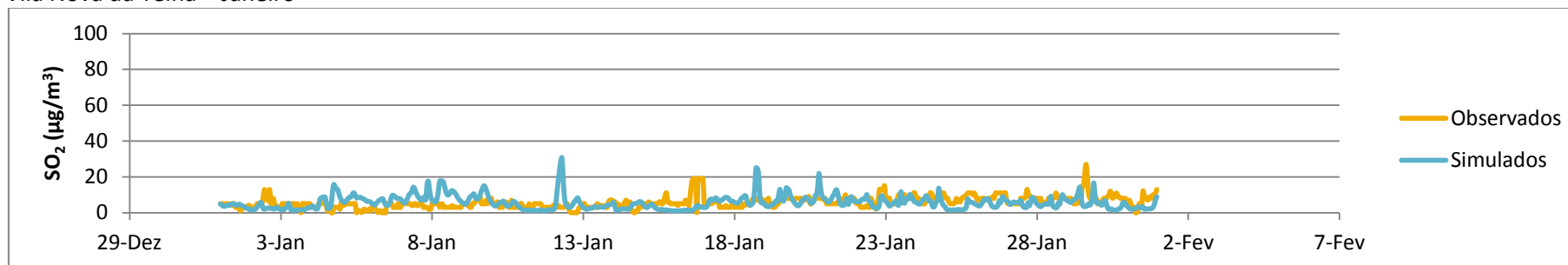
Senhora do Minho – Janeiro



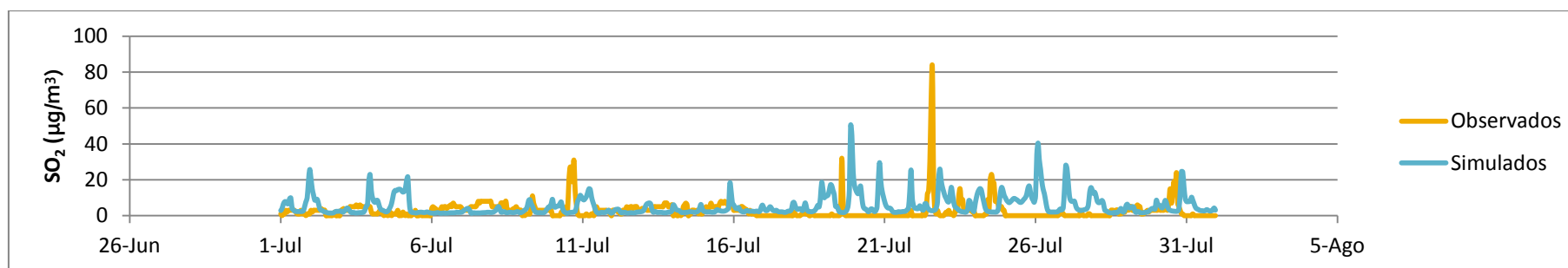
Senhora do Minho Julho



Vila Nova da Telha – Janeiro



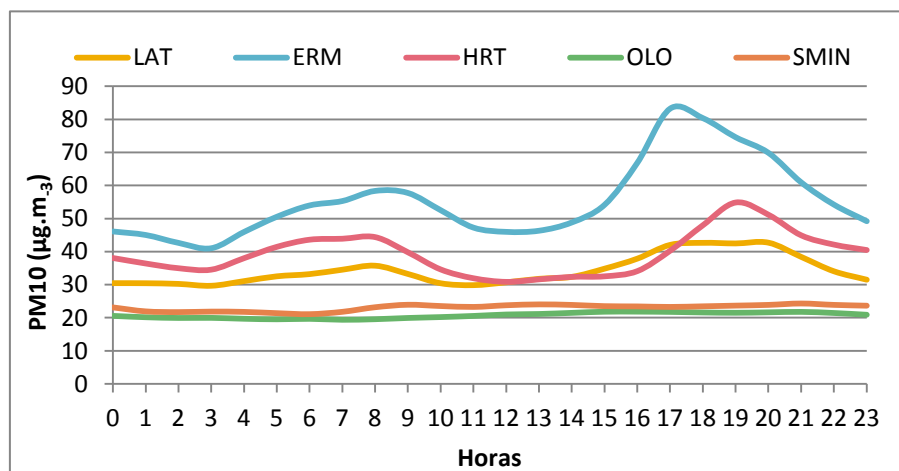
Vila Nova da Telha - Julho



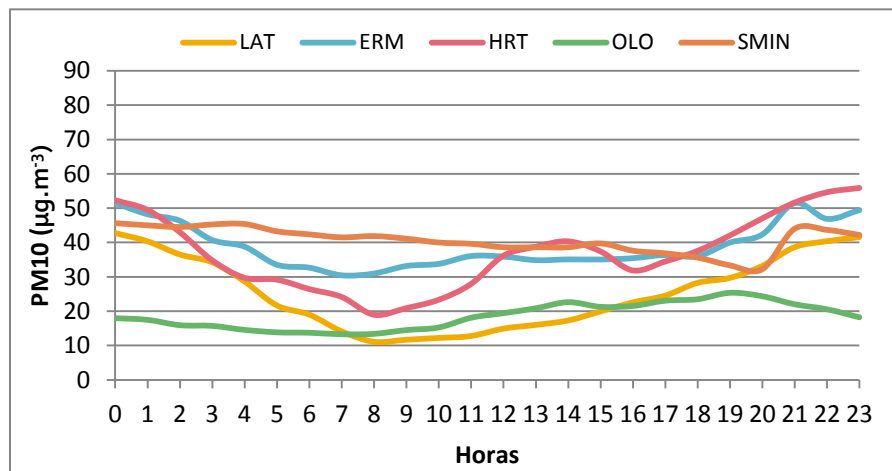


**ANEXO X – PERFIS HORÁRIOS MÉDIOS PARA CONCENTRAÇÕES DE PM<sub>10</sub> ESTIMADAS COM O TAPM (A) E OBSERVADAS NAS ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO (B) PARA OS MESES DOS JANEIRO (1) E JULHO (2) DE 2008.**

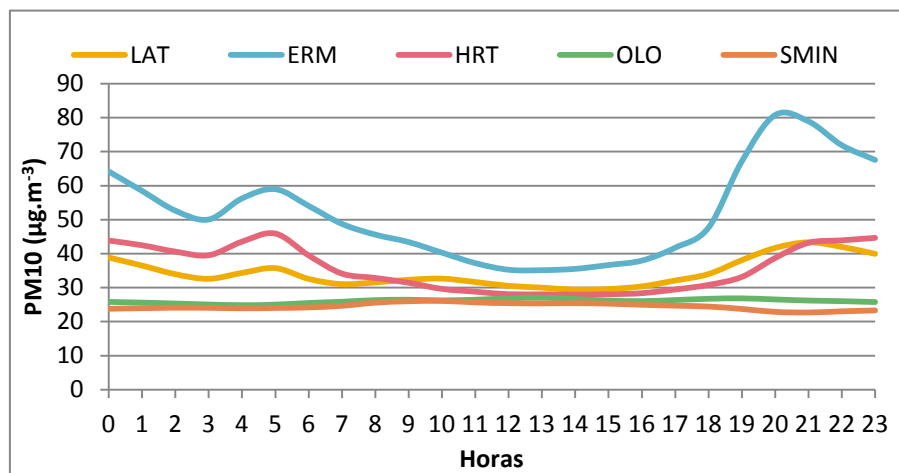
1.A



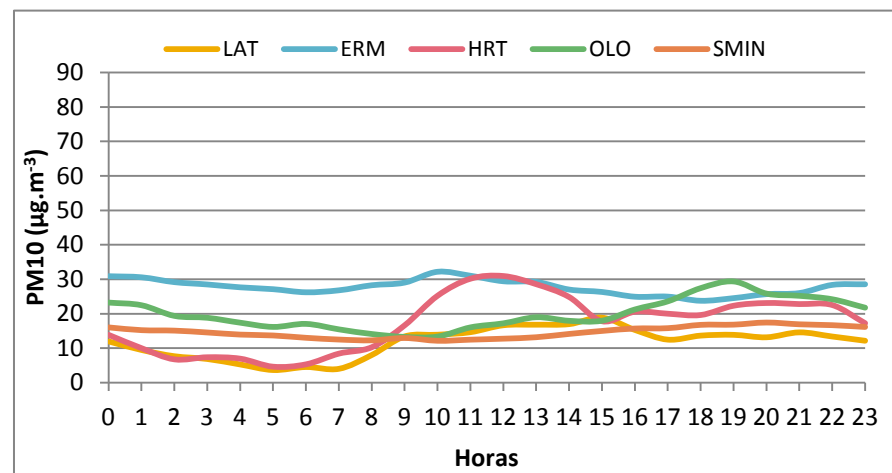
1.B



2.A

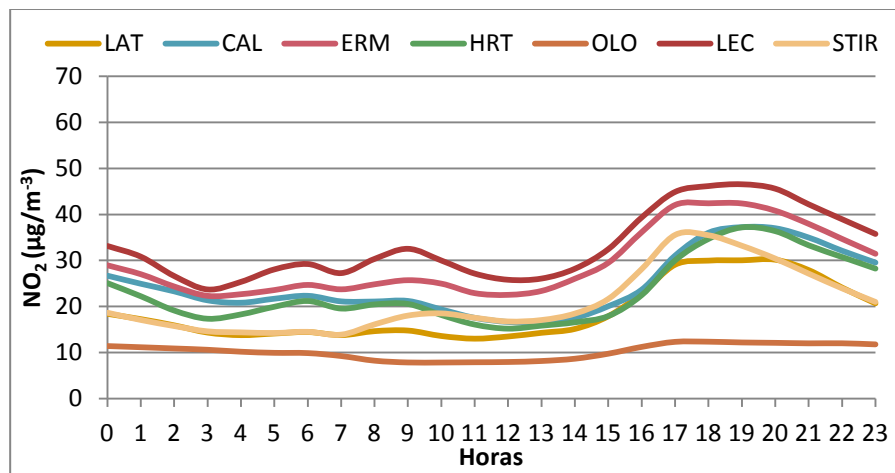


2.B

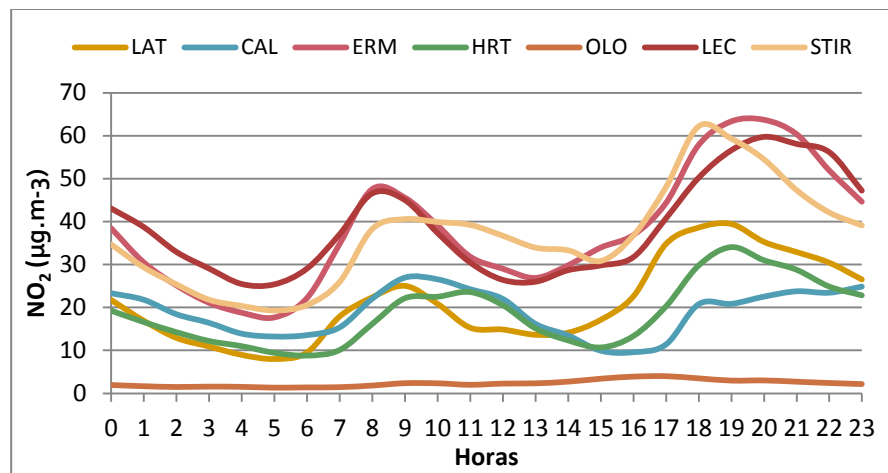


**ANEXO XI – PERFIS HORÁRIOS MÉDIOS PARA CONCENTRAÇÕES DE NO<sub>2</sub> ESTIMADAS COM O TAPM (A) E OBSERVADAS NAS ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO (B) PARA OS MESES DOS JANEIRO (1) E JULHO (2) DE 2008.**

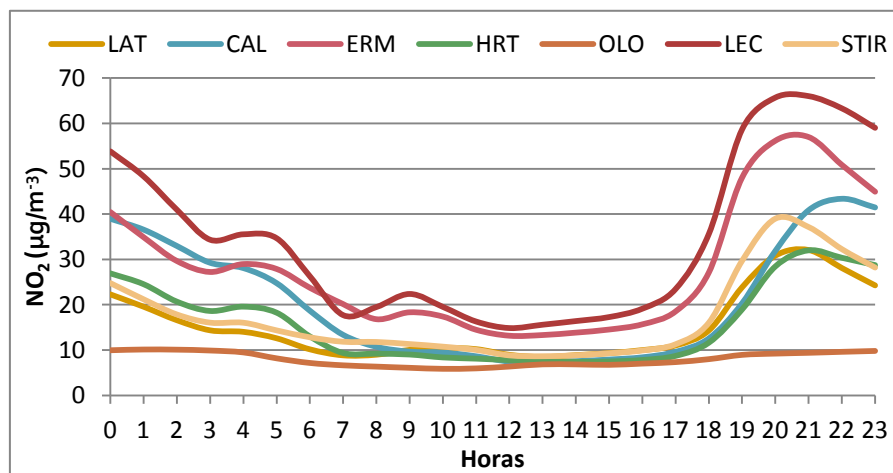
**1.A**



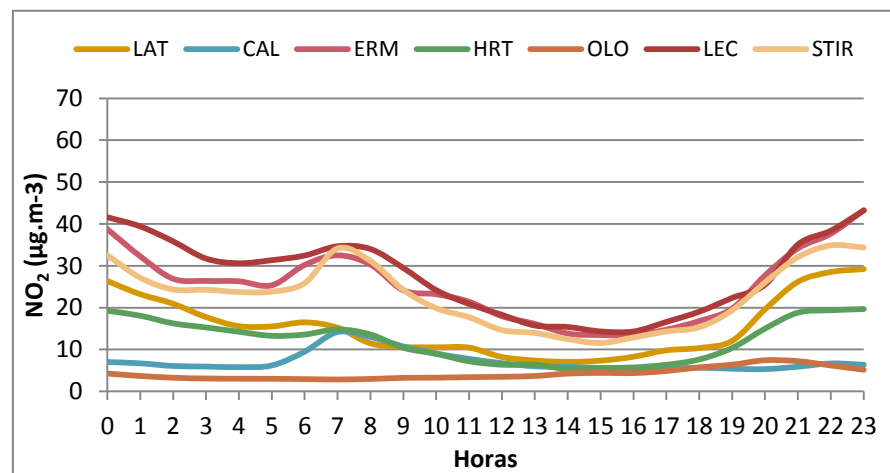
**1.B**



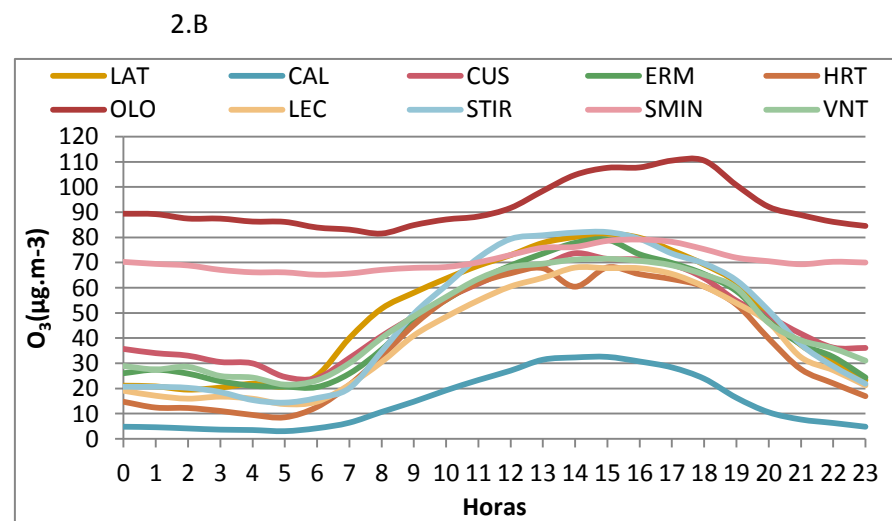
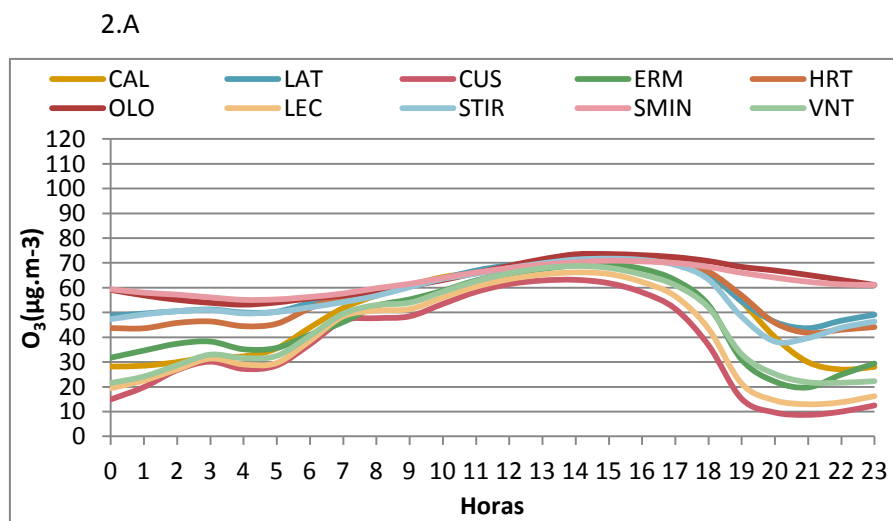
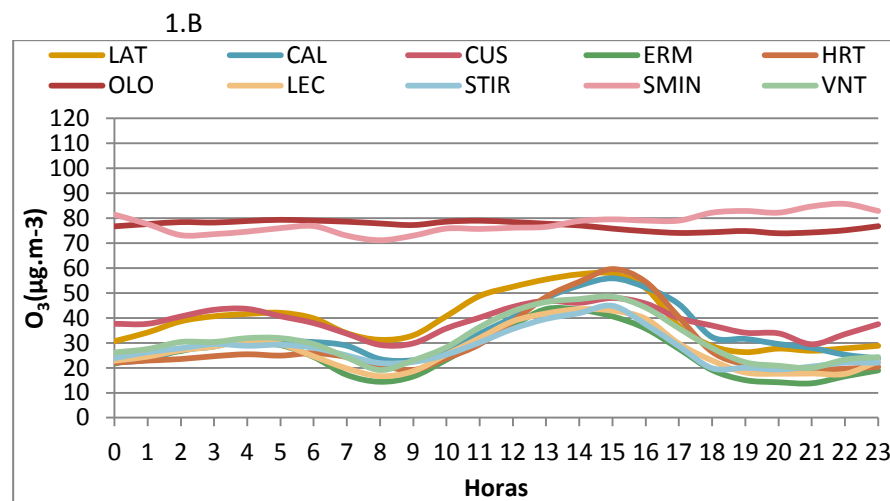
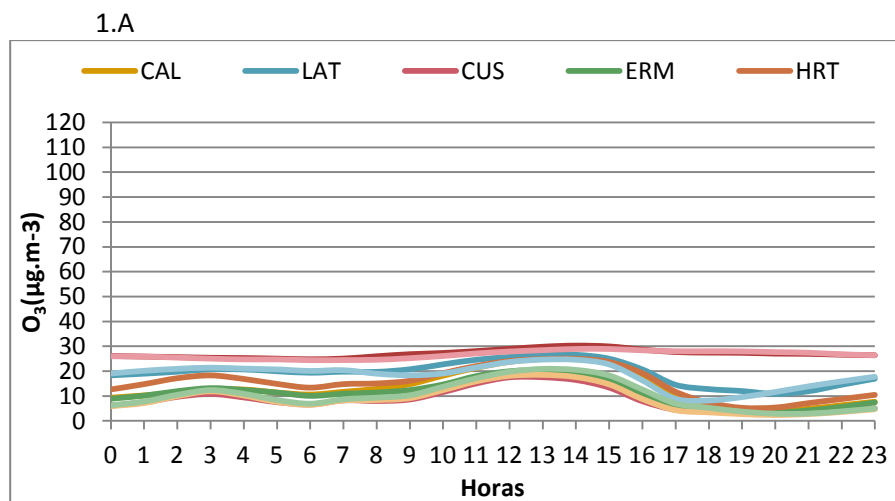
**2.A**



**2.B**

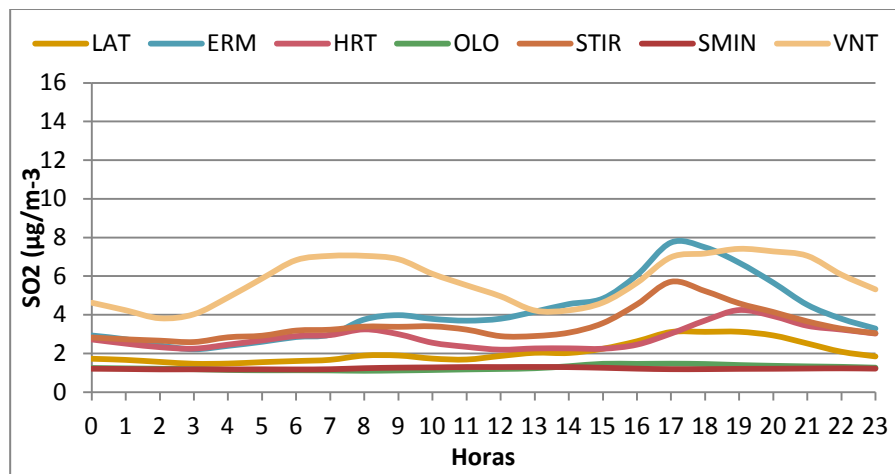


**ANEXO XII – PERFIS HORÁRIOS MÉDIOS PARA CONCENTRAÇÕES DE O<sub>3</sub> ESTIMADAS COM O TAPM (A) E OBSERVADAS NAS ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO (B) PARA OS MESES DOS JANEIRO (1) E JULHO (2) DE 2008.**

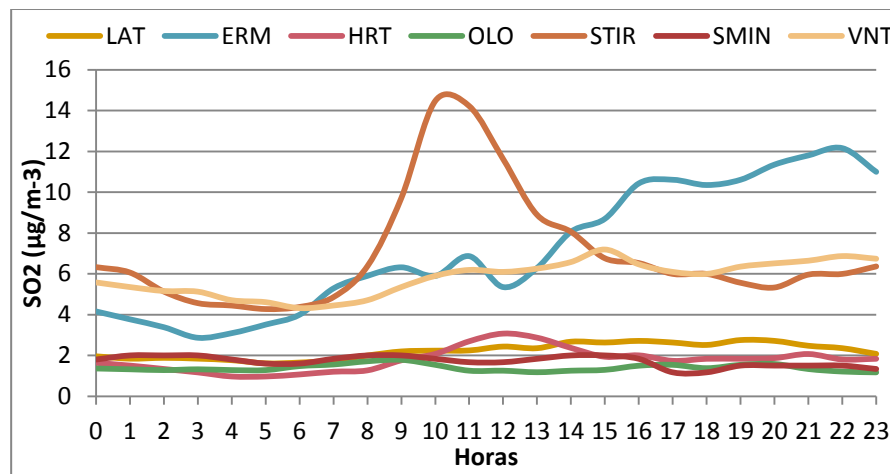


**ANEXO XIII – PERFIS HORÁRIOS MÉDIOS PARA CONCENTRAÇÕES DE SO<sub>2</sub> ESTIMADAS COM O TAPM (A) E OBSERVADAS NAS ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO (B) PARA OS MESES DOS JANEIRO (1) E JULHO (2) DE 2008.**

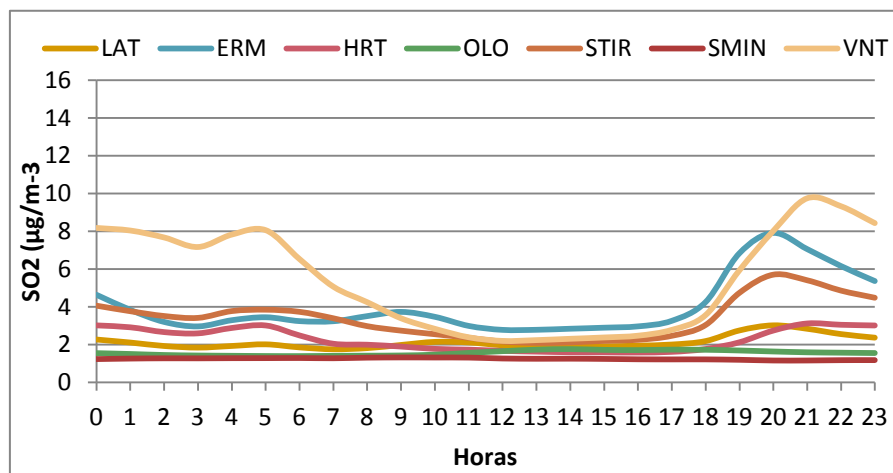
7.A



7.B



8.A



8.B

